

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Vyhodnocení kvality Triple play služeb nástrojem IxChariot**  
**Evaluation Quality of Triple play Service by IxChariot**

**2014**

**Jiří Potěšil**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jiří Potěšil**

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Vyhodnocení kvality Triple play služeb nástrojem IxChariot  
Evaluation Quality of Triple Play Service by IxChariot Tool

Zásady pro vypracování:

Řešitel se seznámí se službou Triple play. Jedná se o seznámení s balíčkem tří služeb: klasické datové služby (www, soubory apod.), real-time multimediální hlasové (VoIP) a video (IPTV) služby. Cílem práce bude emulovat vlastnosti sítě poskytovatele a prostřednictvím simulačního nástroje IxChariot generovat Triple play služby. Na závěr student zanalyzuje a vyhodnotí získaná data a hodnoty.

1. Popis Triple play služby.
2. Realizace sítě pro poskytování Triple play služby.
3. Generování Triple Play služby nástrojem IxChariot.
4. Analýza a vyhodnocení získaných dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

HENS, Francisco J. and José M. CABALLERO. Triple Play: Building the converged network for IP, VoIP and IPTV.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Karel Tomala**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7. května 2014



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Karlu Tomalovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá Triple play službou. V první části jsou vysvětleny jednotlivé typy služeb. V další kapitole je názorná ukázka realizace Triple play služby pomocí dvou koncových zařízení. Pro měření byl použit i telefon s operačním systémem Android. Pro generování služeb byl použit nástroj IxChariot, který simuloval jednotlivé služby VoIP, IPTV a přenos dat. Závěr práce je zaměřen na analýzu a vyhodnocení získaných dat, které jsou vyneseny do grafů.

## **Klíčová slova**

Triple play, IxChariot, internetová televize, internetové volání, emulátor sítě SIMENA, ztrátovost paketů, koncový bod, MOS

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with Triple play service. Individual types of services are explained in the first part. There is a demonstration of realization of Triple play service in the next chapter using two end devices. For the measurement was also used a mobile phone with an Android operating system. For the service generation a tool IxChariot was used, which simulated individual services of VoIP, IPTV and data transfer. The end of the thesis is focused on analysis and evaluation of obtained data, that were displayed in a graph.

## **Key Words**

Triple play, IxChariot, IPTV, VoIP, Network emulator SIMENA, Packet Loss, END POINT, MOS

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>IPTV</b>	Internet Protocol Television
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol
<b>CATV</b>	Cable Television
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>MOS</b>	Mean Opinion Score
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>VoD</b>	Video on Demand
<b>IGMP</b>	Internet Group Management Protocol
<b>RTSP</b>	Real Time Streaming Protocol
<b>SD</b>	Standard Definition
<b>HD</b>	High Definition
<b>DSP</b>	Digital Signal Processor
<b>xDSL</b>	Digital Subscriber Line
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexor
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>TFTP</b>	Trivial File Protocol
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>PON</b>	Passive Optical Network
<b>CMTS</b>	Cable Modem Termination System
<b>DOCSIS</b>	Data Over Cable Service Interface Specification
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol
<b>NAT</b>	Network AddressTranslation

## Obsah

Abstrakt.....	5
Klíčová slova .....	5
Abstract.....	5
Key Words .....	5
Seznam použitých zkratk .....	6
1 Úvod .....	9
2 IPTV .....	10
2.1 Architektura IPTV.....	10
2.2 Distribuční řetězec.....	12
2.3 Protokoly .....	12
2.3.1 Přenos IPTV typu Multicast.....	13
2.3.2 Přenos IPTV typu Unicast.....	14
2.4 Přepnutí kanálů.....	14
2.5 CATV.....	15
3 VoIP.....	16
3.1 Požadavky na přenos paketů v IP telefonii .....	17
3.1.1 Řízení kvality služeb .....	17
3.1.1.1 Protokol H.323 .....	18
3.1.1.2 Protokol SIP .....	19
3.2 Kvalita hovoru VoIP .....	20
3.3 Porovnání výkonnosti kodeků.....	21
3.4 E-model.....	23
3.4.1 Výpočet kvality řeči .....	24
4 Přenos dat .....	26
5 Realizace sítě pro poskytování Triple play služby .....	27
5.1 Zapojení lokální sítě.....	27
5.2 Zapojení lokální sítě a smartphone.....	28
6 Generování Triple play služby nástrojem IxChariot .....	30
6.1 Nástroj IxChariot.....	30
6.2 IxChariot API .....	30
6.3 Nastavení služeb v IxChariot .....	31

7	Analýza a vyhodnocení získaných dat.....	32
7.1	Lokální síť .....	32
7.1.1	VoIP .....	32
7.1.2	IPTV .....	34
7.1.3	Data .....	36
7.1.4	Triple play .....	37
7.2	Lokální síť a smartphone.....	39
7.2.1	VoIP .....	39
7.2.2	IPTV .....	40
7.2.3	Triple play .....	41
8	Závěr.....	42
	Seznam použitých zdrojů .....	43
	Seznam obrázků .....	44
	Seznam tabulek .....	45
	Seznam grafů.....	46
	Příloha A: Použité přístroje .....	47
	Příloha B: Výsledky z měření služby Triple play .....	48
	Lokální síť.....	48
	Výsledky měření VoIP .....	48
	Výsledky měření IPTV .....	50
	Výsledky z měření přenosových dat.....	52
	Výsledky z měření Triple play služby .....	52
	Lokální síť a smartphone .....	53
	Výsledky měření z VoIP .....	53
	Výsledky měření z IPTV .....	53



# 1 Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na službu Triple play. Jedná se o balíček tří služeb - internetová data, hlas a video. Charakter služby internetových dat zná už každý uživatel, neboť je využívá prakticky denně. Jde například o prohlížení www stránek, stahování různých souborů, email, apod.

VoIP služba poskytuje přenos digitalizovaného hlasu přes internet. Hlas volajícího je přenášen v datových paketech pomocí IP sítě k volanému. Tato služba se často používá u velkých firem, kdy jsou všechny telefony zapojeny do intranetu. Za těchto podmínek mohou zaměstnanci mezi sebou volat zdarma. VoIP službu můžeme využívat pomocí IP telefonů, počítačových zařízení a také u modernějších mobilních telefonů.

IPTV služba umožňuje digitální televizní příjem přes internetový protokol. Internetovou televizi lze přijímat pouze v síti daného poskytovatele. Veřejné internetové televize nebo ostatní streamové pořady je možné sledovat na webu, ale nejedná se o IPTV.

Všechny tyto tři typy služeb jsou distribuovány prostřednictvím internetového protokolu na 3. vrstvě modelu ISO/OSI a v Ethernetu, který pracuje na 2. vrstvě modelu ISO/OSI.

Druhá část práce je věnovaná generování Triple play služby prostřednictvím nástroje IxChariot. Realizace sítě proběhla v laboratoři IP telefonie. Závěrem práce je zhodnocení naměřených výsledků.

## 2 IPTV

Technologie poskytující přenos televizního signálu. TV signál je zapouzdřen do paketů. Pro poskytování televizního signálu po datových sítích je potřeba rozlišit, zda se jedná o standardní rozlišení kvality obrazu SD, nebo o rozlišení vysoké kvality HD. Video ve vysokém rozlišení jsou komprimována zpravidla na MPEG-4 (Tabulka 2.1), zatímco videa ve standardním rozlišení podléhají kompresi MPEG-2 (Tabulka 2.1), při kterém rozlišujeme dva toky. Transportní tok (TS) a programový tok (PS). Základním požadavkem při distribuci IPTV je zejména důležitá úroveň kvality služby Qos (Quality of Service) zajišťující kvalitu prožitku uživatele.

Dalším základním požadavkem je i QoE (Quality of Experience). Jde o důležité zabezpečení dat při přenosu, spolehlivost a interaktivita pro náročnější uživatele. V prostoru koncového uživatele je přístupová síť zakončená pomocí xDSL modemu, nebo novější optickou síťovou jednotkou ONU. IPTV signál je veden do IP set-top-boxu a ten následně provede dekódování přicházejících IP paketů obsahujících digitální televizní signál, který je převeden na videosignál ve vhodném formátu pro televizor uživatele. Celý tento distribuční řetězec je znázorněn na (obr.2.1).

### 2.1 Architektura IPTV

IPTV má dvě hlavní vysílací formy. Volné nebo s poplatkem. Volně vysílané IPTV kanály vyžadují pouze internetové připojení. Různé webové portály nabízejí přístup k těmto kanálům.

Protože IPTV využívá standardních síťových protokolů, slibuje nižší náklady pro operátory a nižší ceny pro uživatele. Používání set-top-boxů s širokopásmovým připojením k internetu umožňuje dělení videa do domácnosti efektivněji než běžný koaxiální kabel. ISP aktualizují své sítě, aby poskytovaly HDTV kanály.

IPTV využívá obousměrný digitální vysílací signál posílaný přes přepínanou telefonní nebo kabelovou síť prostřednictvím širokopásmového připojení. [4]

Vlastnosti	MPEG-2	MPEG-4
Standardizován	1994	2003
Primární využití	DVB	HDTV
Rozlišení videa	720x576 1440x1152 1920x1080	320x240 720x576 1920x1080
Počet snímků za sekundu	25-30 50-60	25-30 50-60
Bitová rychlost	4 Mb/s 20 Mb/s 80-100 Mb/s	192 kb/s 4-14 Mb/s 20-135 Mb/s

Tabulka 2.1: *Shrnutí základních vlastností MPEG-2 a MPEG-4*

Modulace	Šířka pásma kanálu [MHz]				
	2	4	6	8	10
16QAM	6,41	12,82	19,23	25,64	32,05
32QAM	8,01	16,03	24,04	32,05	40,07
64QAM	9,62	19,23	28,85	38,47	48,08
128QAM	11,22	22,44	33,66	44,88	56,10

Tabulka 2.2: *Dostupné přenosové rychlosti DVB-C, hodnoty v Mbit/s.*

## 2.2 Distribuční řetězec

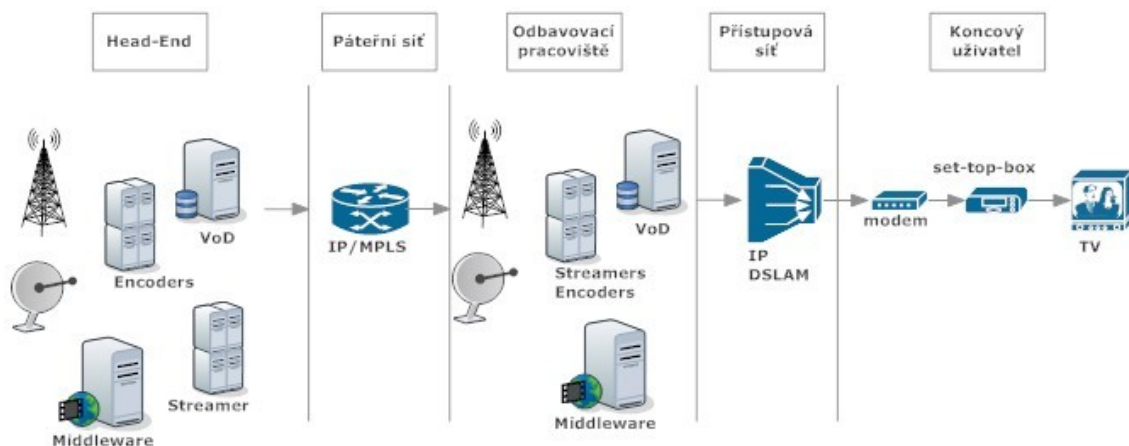
Na levé straně se nachází tzv. „Super head-end“ neboli hlavní odbavovací pracoviště. Většina televizních programů a rádiových stanic vstupuje do sítě pozorovatele právě v tomto bodě. Odbavovací centrum zpracovává vstupní video nebo audio signály. Příchozí signály mohou být analogové nebo digitální. Analogový signál je digitalizován a zkomprimován pomocí vhodné komprese.

Digitalizovaný vstupní signál může být překódován do jiného vhodného formátu (MPEG-2, MPEG-4/H.264, VC-1). Přenos video signálů z odbavovacího pracoviště dále pokračuje přes páteřní síť poskytovatele. Tato síť garantuje přenos datových toků do přístupové sítě. Je z velké části založena na technologii IP/MPLS (MPLS - přepínání paketů po definované cestě na základě návěští).

Úkolem přístupové sítě je distribuce jednotlivých datových toků k uživateli. Důležitou roli zde hrají parametry služby QoS. Kupříkladu lze upřednostnit přenos video signálu, zamezení zpoždění či fragmentace signálu.

Dále máme v architektuře také regionální odbavovací pracoviště. Jejich úkolem je přidávání regionálně zaměřeného obsahu do vysílání (regionální televize regionální rozhlasové stanice atd.).

Konec distribučního řetězce reprezentují zákaznické prostory, v nichž se nalézají zákaznická zařízení (Set-Top-Box, modem). Jejich funkcí je ukončení jednotlivých datových toků a následné převedení na signály zobrazující se na televizi. [4]



Obrázek 2.1: Distribuční řetězec IPTV

## 2.3 Protokoly

Na úrovni síťové vrstvy se používá IP multicast pomocí standardního IGMP protokolu v případě televizního vysílání. Pro video na vyžádání je použit protokol RTSP.

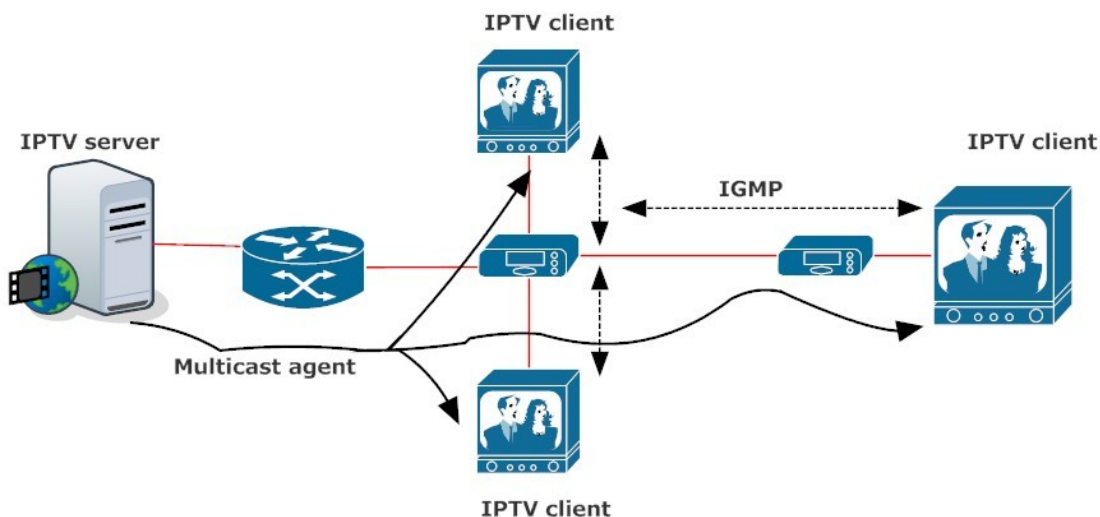
Uživatel může sledovat živé vysílání nebo uložené videa (VoD). Video obsah je většinou komprimovaný za použití MPEG-2 nebo MPEG-4 kodeku (tabulka 2.1).

Tento obsah je potom posílán přes MPEG transportního tokového protokolu přes IP multicast v případě standardně vysílané televize. Pro zpracování obrazu se používá H.264 kodek, který nahrazuje starší MPEG-2 kodek.

### 2.3.1 Přenos IPTV typu Multicast

Uživatelé multicastové skupiny sledují určitý kanál, který je přenášén jen na set-top-boxy. Tato metoda šetří přenosovou kapacitu. Na obrázku 2.2 je znázorněné současné připojení tří účastníků k TV kanálu. Na distribuční směrovač je odeslána jen jedna kopie z obsahového serveru, což je zřejmé z obrázku. Tento směrovač pošle video do regionálních uzlů. K uživatelům, kteří si vyžádali sledování kanálu, je datový tok směřován z regionálních směrovačů. Pro vysílání televizního programu přes IPTV je zpravidla používaná metoda multicast.

Ve video toku se mohou projevit chyby, nehledě na dobře navrženou síť nebo dodržení parametrů QoS. U vysílání toků typu multicast je velmi podstatné zajistit bezpečný celkový průběh přenosu. Při přepnutí TV programu dochází k přechodu z jedné multicastové skupiny do druhé, přesněji odhlášení ze současné skupiny a přihlášení do nové. Tyto operace jsou zdrojem zpoždění, poněvadž jejich zpracování zabere nějakou dobu. IGMP protokol (Internet Group Management Protocol) se využívá při změně TV kanálu. Obsahuje zprávy k odhlášení z multicast skupiny a k přihlášení do nové multicast skupiny. Při přijímání této žádosti je přezkoumáno oprávnění k sledování nového TV programu. Následně nastane přidání charakteristického uživatele do seznamu kanálové distribuce. Metoda multicast je schopna poskytnout obsah až k miliónům uživatelů současně. [4]

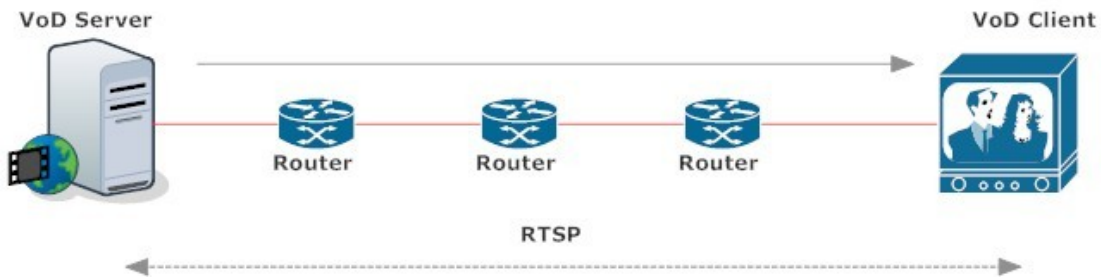


Obrázek 2.2: Přenos tv kanálů IPTV "multicast"

### 2.3.2 Přenos IPTV typu Unicast

Unicast označuje v IPTV síti zasílání paketů pouze jedinému cíli. Set-top box může jednoduše požádat server o opakované posílání ztracených nebo poškozených paketů (obr.2.3.).

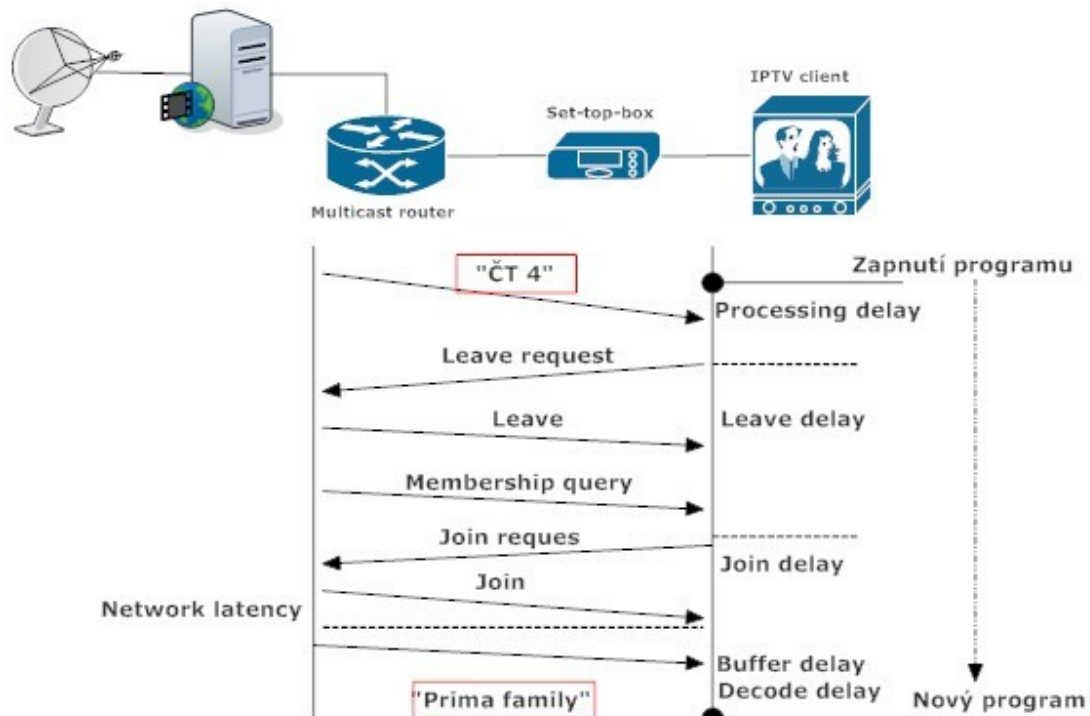
Protokolem RTSP (Real Time Streaming Protocol) je řízen datový tok. Zprostředkovává kontrolu nad multimediálním tokem. Umožňuje uživateli přehrávání (play), pozastavení (pause) a zastavení (stop) sledovaného programu. [4]



Obrázek 2.3: Přenos tv kanálů IPTV „Unicast“

### 2.4 Přepnutí kanálů

Zpoždění při přepnutí kanálů je podmíněno změnou programu uživatele. Přepnutí kanálů by nemělo trvat déle než 1-2 sekundy (obr. 2.4).



Obrázek 2.4: Zpoždění při přepnutí programu u IPTV

Hlavní faktory zpoždění:

- Set-top-box zpracuje příkaz a zapne požadovaný program „ČT 4“. Pro přepnutí kanálu využije IGMP protokol pro odeslání zprávy na IPTV server.
- Network latency zahrnuje všechny přenosové zpoždění vlivem sítě.
- Leave latency je čas potřebný k zastavení přenosu starého pořadu „ČT 4“
- Join latency je čas potřebný k zahájení příjmu nového kanálu „PRIMA Family“. [1]

## 2.5 CATV

CATV je zkratka pro analogovou kabelovou televizi. Tento způsob je realizován společnou anténou na střeše panelového domu pro všechny účastníky a bývá označen názvem „NUVUE“. Distribuce signálu CATV by měla být simplexní, obvykle standardu DVB-C (Digital Video Broadcasting Cable), případě novější standardu DVB-C2 (tab. 2.2).

Distribuce signálu pomocí těchto standardů je vhodné použít tam, kde existuje kabelové (koaxiální) vedení.

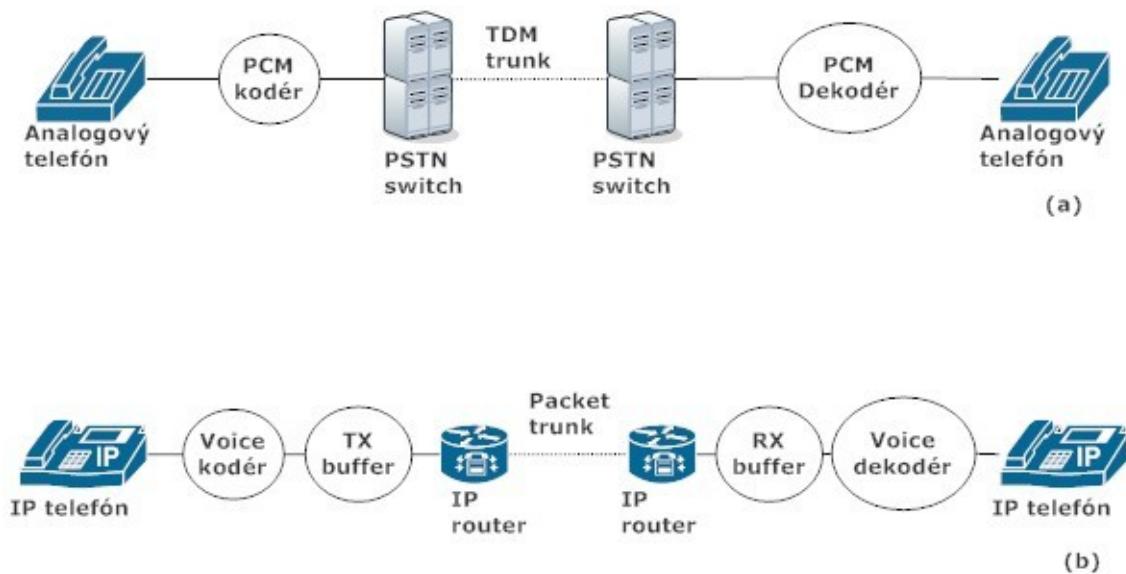
U zákazníka doma je zásuvka pro televizi a datová přípojka. Ze zásuvky je potom veden koaxiální kabel do set-top-boxu. Pomocí modemu, který obsahuje i zásuvku RJ-12 pro VOIP telefon, je řešen přenos dat. Nejčastěji používané kódování pro signál přenášený do set-top-boxu je pomocí specifikace ISO13818 MPEG-2, v dnešní době i MPEG-4. [9]

### 3 VoIP

Služba pro přenos hlasu pomocí datové sítě. VoIP je zkratka pro volání přes internet (Voice over Internet Protocol). Tato služba má nejmenší náročnost na šířku pásma, ale je citlivá na zpoždění a ztrátovost paketů. Komunikace je zajištěna na straně účastníka, který používá IPtelefon(obr.3.1), a nebo program na počítači.



Obrázek 3.1: *IP telefon*



Obrázek 3.2: *Referenční model*



Klasický referenční model u analogového signálu (obr. 3.2/a) je generován pomocí telefonu a digitalizován pomocí PCM kodéru. Voiceover IP používá přepojování paketů k přenosu hovoru (obr.3.2/b). [1]

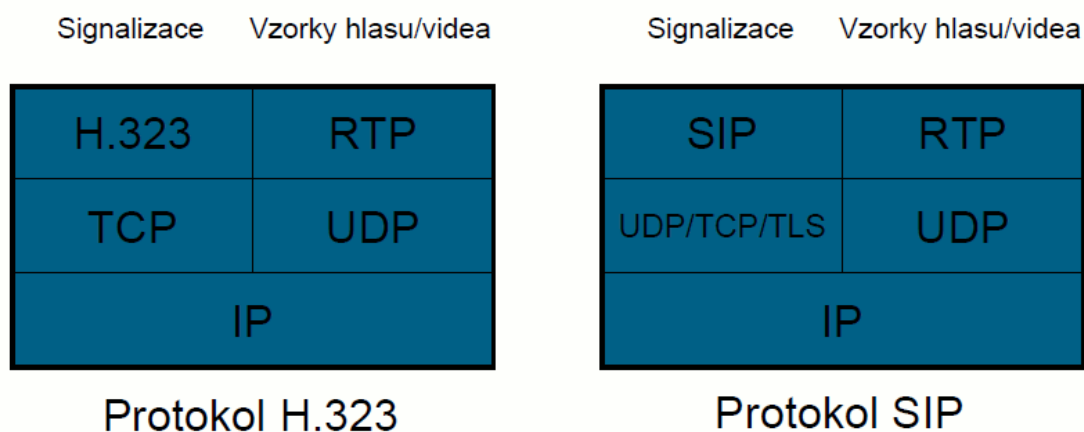
### 3.1 Požadavky na přenos paketů v IP telefonii

V IP sítích je hlas přenášen v paketech RTP (Real Time Protocol). Tento protokol je založen na datagramové službě, nespojově orientovaném a nespolehlivém přenosu, což ovšem neznamená, že hovor uskutečněný přes IP síť nemůže být kvalitní.

Existují dva typy přenosu. Přenos pomocí paketu signalizace a paket obsahující uživatelská data, nejčastěji hlasové vzorky. V IP telefonii se pro přenos signalizace používají dva protokoly - H.323 a SIP.

Protokol H.323 byl navržen Mezinárodní telekomunikační unií a je proto velmi robustní a zaměřený čistě na IP telefonii. Protokol SIP se specializuje na sestavování multimediálních relací. Pro signalizační přenos využívá protokol H.323 TCP protokol, který běží na transportní vrstvě modelu ISO. V případě ztráty paketů zaručuje doručení zprávy právě TCP protokol.

Protokol SIP umožňuje použití dvou protokolů (UDP nebo TCP) na úrovni transportní vrstvy. V obou případech se ztráty projeví vyšším zpožděním přenosu, avšak s výjimkou poruchy. SIP dovoluje rovněž použití protokolu Transport Layer Security Protocol(TLS), který zabezpečuje signalizační data. [2]

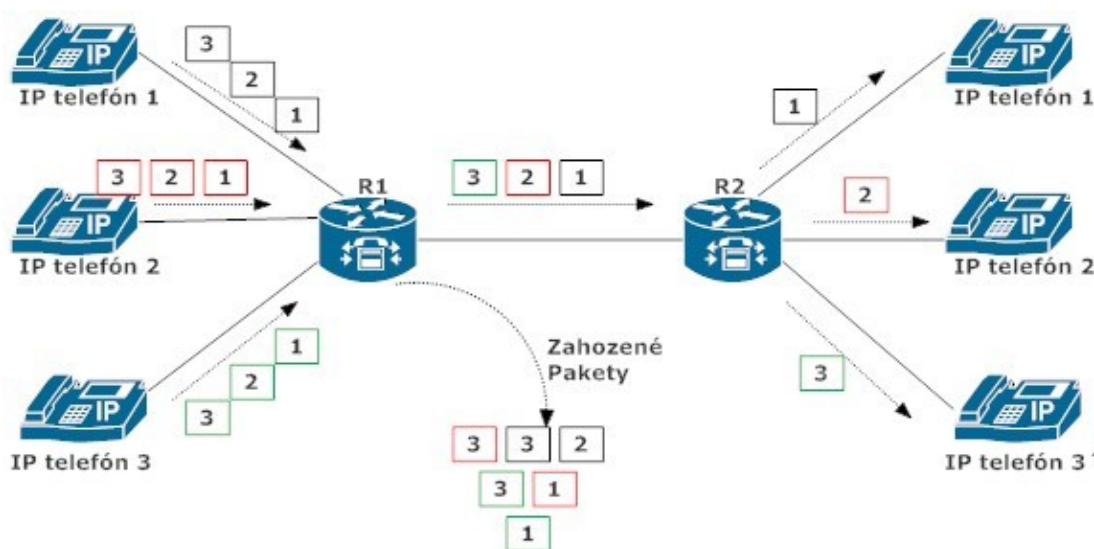


Obrázek 3.3: Hierarchie protokolu IP telefonie

#### 3.1.1 Řízení kvality služeb

Popíšeme problém přenosu metodou „best effort“. Tato metoda je znázorněna na následujícím obrázku 3.4, kde máme tři páry ip telefonů, které spolu komunikují pomocí směrovačů R1 a R2. Veškeré vyobrazené spoje mají kapacitu 3 paketů za jednotku času. Každý z telefonů 1-3 vytváří datový tok 3 pakety za jednotku času. Je nutné, aby při směrování paketů z R1 do R2 směrovač R1 zahodil určité pakety, neboť spoj mezi směrovači nedisponuje

dostatečnou kapacitou potřebnou k přenesení všech paketů. Při neuplatnění metody „best effort“ se kvalita hovoru sníží příčinou zahození náhodných paketů. Na rozdíl od ústředny ISDN neuvažují IP přepínače o jednotlivé hovory. Pracují na úrovni paketů. Cílem služeb je zajištění maximální kvality pro všechny hovory. Zprostředkování hovoru, který nemá dostatečnou přenosovou kapacitu, nemohou být uskutečněny. Aby byl sestaven hovor, je třeba použít nástroj QoS. [2]



Obrázek 3.4: Princip metody maximální snahy „Best effort“

### 3.1.1.1 Protokol H.323

Norma H.323 verze 6 z června 2006 navrhuje použití rezervaci prostředků pro audio a video pakety. Protokol nepopisuje detaily mechanismů, které zajišťují takovou rezervaci, avšak obecné principy a způsob koordinace mezi jednotlivými H.323 zařízeními je normou popsán.

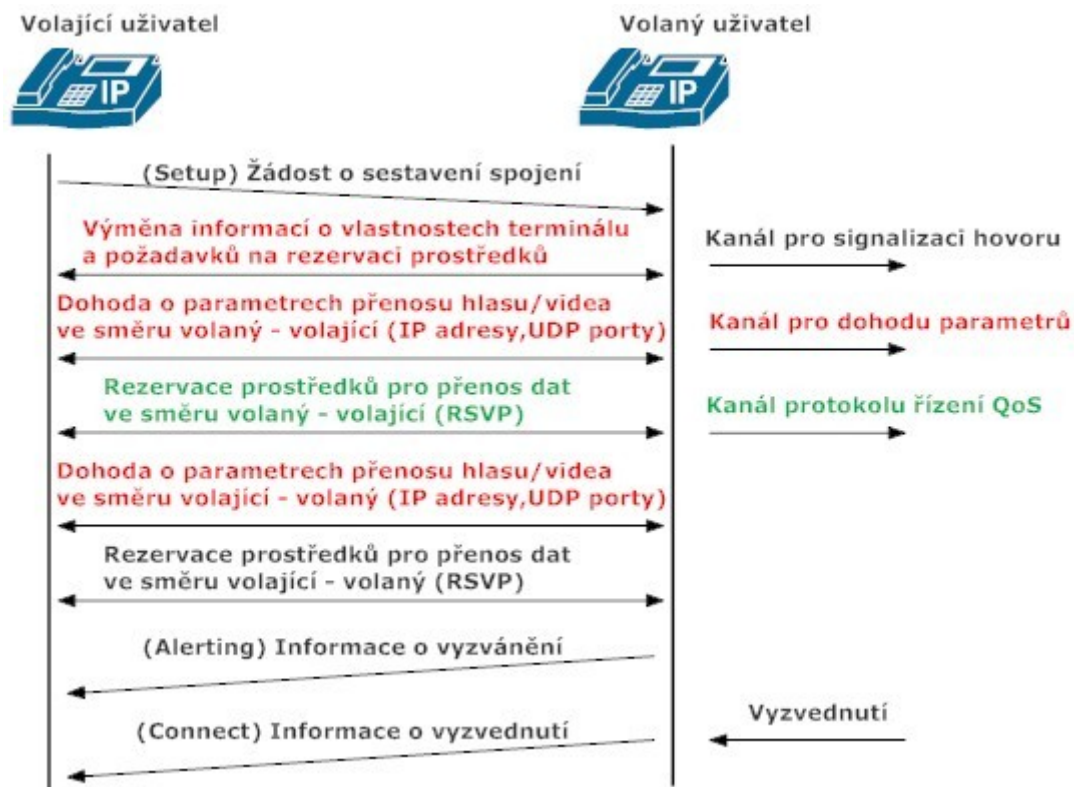
Všechny terminály protokolu v první fázi sestavení hovoru poskytnou ústředně informaci o schopnosti rezervace prostředků. O provedení rezervace rozhoduje ústředna. Rezervace může být realizována pomocí koncového terminálu, samotné ústředny, nebo vůbec. Při použití metody „best effort“ není nutné rezervaci vykonat. Norma dále radí provedení rezervace samotným terminálem. Všechny síťové prvky zpracovávající hlasové pakety mají zaručenou rezervaci (pakety nejsou nutně směrovány přes ústřednu H.323).

Protokol H.323 používá dvě TCP spojení pro signalizační přenos. Jedno spojení využívá pro přenos signalizace hovoru a druhé k dohodě parametrů přenosu videa nebo hlasu.

K rezervaci prostředků je potřeba vyřešit dvě podmínky. Znat nároky na šířku pásma potřebnou k realizaci hovoru a zaručit rezervaci prostředků před vyzváněním na straně volaného. Bez znalosti šířky pásma je rezervace neproveditelná. Nicméně koncové terminály si mezi sebou zvolí šířku pásma. Dohoda je splnitelná v průběhu sestavení hovoru. Dokončená je však až při vyzvednutí (standardní chování protokolu SIP) nebo až po vyzvednutí (standardní chování protokolu H.323).

Charakteristiku obou protokolů je nutné přizpůsobit. Jestliže bychom provedli rezervaci v době vyzvánění nebo po vyzvednutí, mohlo by po vyzvednutí hovoru následně přijít jeho ukončení díky nedostatku prostředků.

Norma H.323 bere v úvahu výše uvedené podmínky. Sekvence sestavení hovoru zahrnuje rezervaci přenosových prostředků a její synchronizaci se sestavováním hovoru. Použitím této sekvence se zaručuje řízení QoS pro daný hovor. Sekvence je ve zjednodušené formě zobrazena na obrázku 3.5. [2]



Obrázek 3.5: Sekvence sestavení hovoru s rezervací prostředků „H.323“

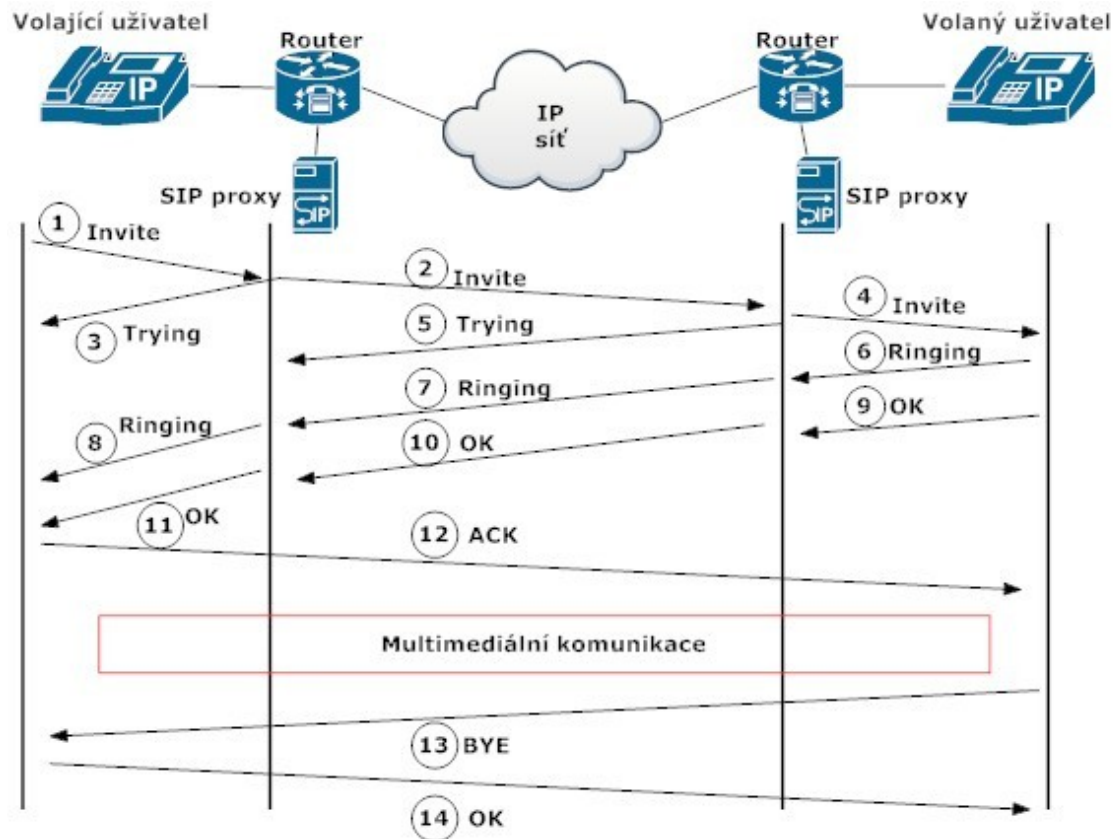
### 3.1.1.2 Protokol SIP

Tento protokol nevyužívá rezervaci prostředků oproti protokolu H.323. Definice protokolu SIP verze 2.0 uvádí, že spojení mezi účastníky prochází mezi různými sítěmi, a proto protokol SIP nepotřebuje rezervaci. Pro další rozvoj protokolu SIP je nutné využít nástroj QoS.

Protokol SIP má k dispozici jeden signalizační kanál. U přenosu vzorků hlasu se používá protokol SDP (Session Description Protocol). Data protokolu SDP jsou umístěna do zpráv protokolu SIP. Protokol SDP je rozšířen o dokument RFC 3312, který slouží k řízení rezervaci prostředků.

Aby bylo možné využít definovaného mechanismu, je třeba, aby jednotlivé prvky SIP implementovaly kromě již uvedeného rozšíření (RFC 3312) také rozšíření specifikované dokumenty (RFC 331).

Na obrázku 3.6 je zobrazená typická SIP relace. Volající uživatel neodesílá přímo „Invite“ zprávu volanému. Pro sestavení hovoru používá SIP proxy server, který lokalizuje volaného a naváže spojení. [2]



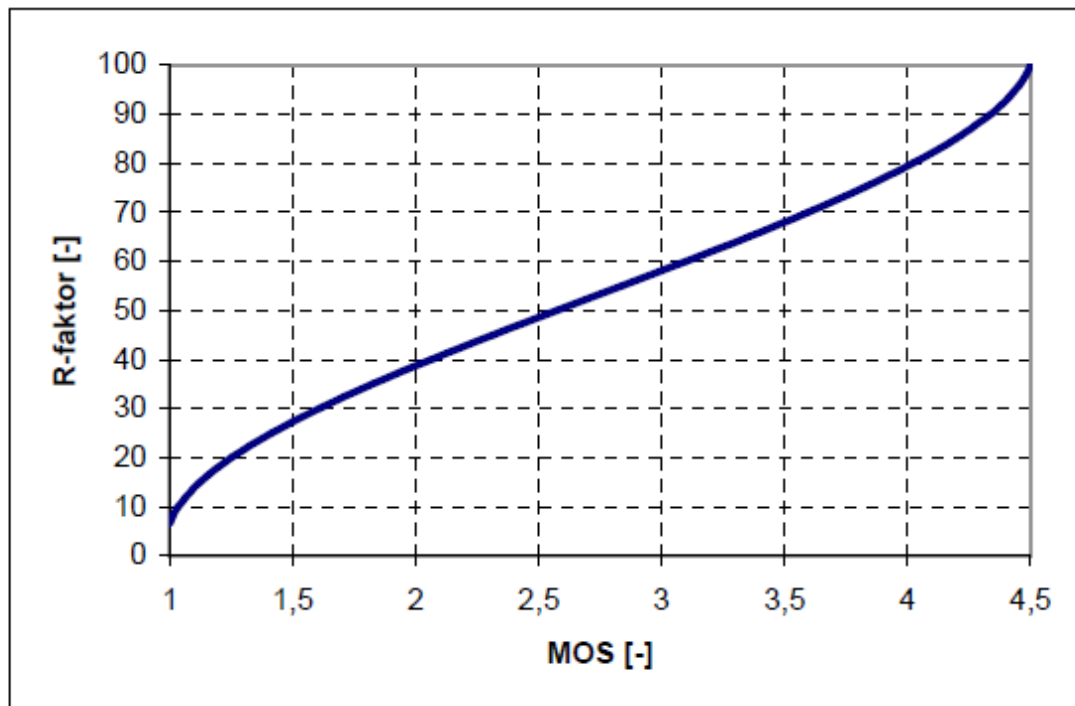
Obrázek 3.6: Sekvence sestavení hovoru s pomocí SIP protokolu

Když volající přijme „OK“ zprávu, pošle potvrzovací zprávu „ACK“. Všechny „ACK“ zprávy jsou směrovány přímo do volaného uživatele. Oba uživatelé se spojili díky SIP zpráv. Po této fázi probíhá VoIP hovor. Tato komunikace končí, až jeden z uživatelů zavěsí telefon. V tomto případě je poslána zpráva „BYE“ a odpovědí je „OK“, kdy tímto končí tato relace. [1]

## 3.2 Kvalita hovoru VoIP

Kvalita je závislá na poslechu uživatele a také především na použitém kódování. Dalším faktorem je kvalita konverzace, zda se neobjevují rušivé vlivy, jako je echo či zpoždění. V poslední řadě je kvalita hovoru závislá na dobré přístupové síti.

Klíčové pro hodnocení kvality jednotlivých standardů je parametr MOS. Základem hodnocení je stanovit subjektivní metodu MOS, u které se používá stupnice kvality od 1 do 5, což 1 je nejhorší a 5 je nejlepší hodnocení kvality hovoru. Kvůli složitějším systémům nestačí pouze subjektivní názor lidí. A proto v dnešní době je využívána pro hodnocení hovoru různé softwarové programy. [3]



Obrázek 3.7: Grafická závislost R-faktoru a parametru MOS

### 3.3 Porovnání výkonnosti kodeků

Hovor přenášen přes VoIP protokol používá různé metody kódování mající různou hodnotu parametru MOS. Nejpoužívanější kodek je pulzní kódová modulace PCM dle standardu ITU-T G.711. Druhým kodekem je ITU-T G.729 s kódově buzenou lineární predikcí CS-ACELP, který má podobný MOS jako G.711, menší přenosovou rychlost a vyšší nároky na procesorový výkon. Na signálových procesorech DSP je z velké části zaručeno kódování a dekódování.

V tabulce 3.1 jsou uvedeny následující parametry: používané standardy kódování, názvy algoritmů, náročnosti na zpracování vyjádřené parametrem MIPS (počet miliónů instrukcí za sekundu), přenosové rychlosti kodeků, kvalita kodeků posouzená parametrem MOS dle ACR (Absolute Category Rating)

Zprvu se můžeme domnívat, že standard G. 729 bude 8x ekonomičtější na šířku pásma. Po vytvoření paketů a započtení jejich hlaviček standard G. 729 požaduje v síti Ethernet přibližně 35 kbit/s a G. 711 až 90 kbit/s.

U kodeku G.729 musíme brát v potaz zpoždění 10 ms pro každý rámec a dalších 5 ms tvoří dopředné zpoždění. Poněvadž se zpravidla do jednoho RTP paketu umístí dva rámce, Je třeba počítat se zpožděním 25 ms při kódování. Před dekódováním jsou přicházející pakety soustředěny v mezipaměti, kde se vyrovnává proměnné zpoždění, které vzniká při přenosu IP sítí. Tohle zpoždění je označováno jako jitter. Zpoždění mezi účastníky a jeho účinek na kvalitu hovoru

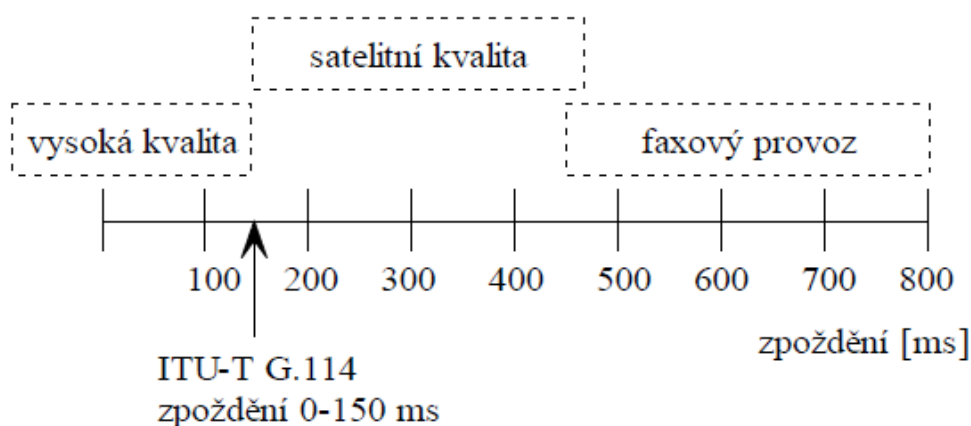
Zpoždění mezi odesílatelem a příjemcem a jeho vliv na kvalitu hovoru je charakterizován v doporučení ITU-TG.114. Hodnota tohoto zpoždění by se měla pohybovat do 150 ms. Překročí-li 300 ms, pak kvalita hovoru klesá s narůstajícím zpožděním. Z pohledu kvality lze zpoždění rozdělit na tři úseky (obr. 3.8). [5],[6]

Standard	Algoritmus	MIPS	Přenosová rychlost[kbit/s]	MOS(ACR)
G.711	PCM	0	64	4,1
G.726	ADPCM	1	32	3,85
G.728	LD-CELP	30	16	3,61
GSM 06.10	RPE-LTP	10	13	3,5
G.729	CS-ACELP	20	8	3,92
G.723.1	MP-MLQ	16	6,3	3,9
G.723.1	ACELP	20	5,3	3,65

Tabulka 3.1: Porovnání kodeků

Jitter může mít zásadní vliv na kvalitu hovoru. Může být odstraněn použitím nástrojů QoS, upřednostněním hlasových paketů ve frontách, jejich označením, rozdělením (fragmentací) dlouhých paketů, rezervací zdrojů pomocí rezervačního protokolu. Aby byla zaručena maximální doba doručení, je třeba provést rezervaci zdroje na celé dráze. Jde tedy o rezervaci pásma. Je-li rychlost nad 1 Mbit/s, tak se jitter u VoIP takřka neprojevuje.

Používáním VoIP je třeba brát v potaz ztrátovost paketů, která má špatný vliv na kvalitu hovoru. U G.729 pocítí uživatel ztráty okolo 3%, které sníží hodnotu MOS o 0,5 a tím se dostane na úroveň kvality GSM kodeku, který se používá v mobilních sítích. Jedná-li se o jediný případ ztráty, pak použitím algoritmu ztracených paketů PLC (Packet Loss Concealment) lze kvalitu zachovat. V případě po sobě se vyskytujících skupin ztrát efektivita PCL klesá.



Obrázek 3.8: Zpoždění mezi odesílatelem a příjemcem

### 3.4 E-model

E-model byl vytvořen k posouzení kvality telefonní komunikace. Výstupem tohoto modelu je parametr R-faktor (Quality rating value) dle doporučení ITU-T G.107. Parametr zohledňuje vliv všelijakých kombinovaných účinků a variant různých přenosových parametrů na kvalitu hovoru (šum, hlasitost, způsob kódování, ozvěny, zpoždění, ...).



Obrázek 3.9: Poslechová MOS stupnice

Metrika nazvaná R-faktor používá předpis pro zohlednění, jak uživatelského vnímání, tak celkového efektu znehodnocení zařízením pro dosažení numerického vyjádření hlasové kvality. R-faktor nabývá hodnot 0 - 100, kde hodnota 0 označuje extrémně špatnou kvalitu a hodnota 100 velmi vysokou kvalitu. Krajiní hodnotou R-faktoru pro použití v oblasti VoIP je hodnota 50, lépe řečeno MOS 2.6.

E-model je založen na předpokladu aditivní interakce jednotlivých rušivých vlivů a je popsán rovnicí 3.1. Parametr IS je lineární zkreslení, které v sobě zahrnuje přijatou úroveň hovorového signálu a prezentuje znehodnocení, které může nastat přenosem hlasu, jako je pokles úrovně signálu, úroveň zpětné vazby a šum. [3]

### 3.4.1 Výpočet kvality řeči

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A \quad (3.1)$$

$R_0$  - odstup signálu od šumu. U zjednodušeného modelu  $R_0=94,7688$ .

$I_s$  - simultánní faktor rušení. Nedílná složka hovoru, která nelze odstranit (šumy z okolí). U zjednodušeného modelu  $I_s=1,4136$ .

$I_d$  - faktor zpoždění zahrnující všechny druhy zpoždění, včetně zpoždění ozvěn. Při zpoždění pod 100ms lze uvažovat  $I_d=0$ .

$I_{e-eff}$  - faktor zhoršení způsobený vlivem použitého kodeku.  $I_{e-eff}$  faktor se vypočítá z následující rovnice:

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}} \quad (3.2)$$

$A$  - faktor zvýhodnění, který závisí na soustředěnosti posluchače.

$I_e$  - faktor zhoršení daný kodekem.

$P_{pl}$  - ztrátovost paketů v procentech

$BurstR$  - rozložení ztrátovosti paketů. Pokud  $BurstR = 1$ , tak jde o čistě náhodné rozložení, pokud  $BurstR < 1$ , tak ztrátovost má shlukový charakter.

$B_{pl}$  - odolnost použitého kodeku proti ztrátovosti.



Faktor A (AdvantageFactor) může zohlednit výhody a nabývat hodnoty 0 až 20. Značí se jako faktor očekávání a má uplatnění u mobilních terminálů. Uživatel je schopen tolerovat zhoršení kvality při mobilitě a nabývá hodnot (tabulka 3.2).

Typ terminálu	Hodnota faktoru A
Pevný terminál	0
Pohyblivý DECT	5
Mobilní GSM	10

Tabulka 3.2: *Faktor očekávání*

Dalším výstupem E-modelu mohou být prostřednictvím Gaussovy chybové funkce (Gaussian Error Function) i procentuální parametry GoB (Good or Better) a PoW (Poor or Worse). Tyto parametry společně s hodnotou MOS mohou být vhodné pro vytvoření dalšího pohledu na kvalitu při návrhu sítě.[3]

R-faktor	MOS	GoB[%]	PoW[%]	Spokojenost uživatele
100-90	4,5-4,34	100-97	~0	Velmi spokojený
90-80	4,34-4,03	97-89	~0	Spokojený
80-70	4,03-3,60	89-73	0-6	Někteří uživatelé nespokojeni
70-60	3,60-3,10	73-50	6-17	Mnoho uživatelů nespokojeni
60-50	3,10-2,58	50-27	17-38	Téměř všichni uživatelé nespokojeni

Tabulka 3.3: *Hodnoty kvality řeči*

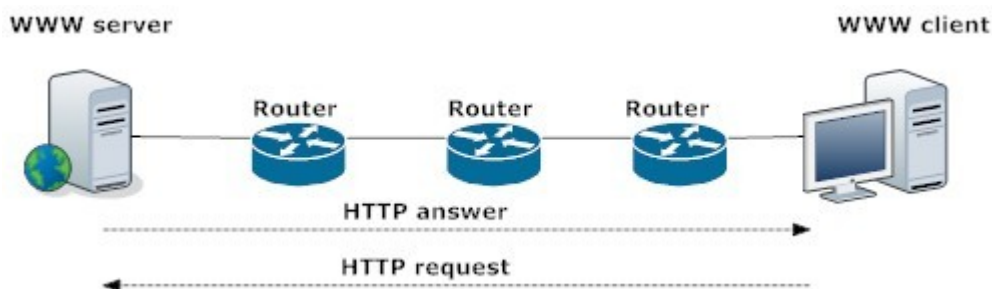
## 4 Přenos dat

Poslední služba z balíčku Triple play. Jedná se o službu vysokorychlostního připojení k internetu. Vysokorychlostní připojení se nedá přesně specifikovat, protože přenosová rychlost není zcela garantovaná. Umožňuje přístup na webové stránky, prohlížení e-mailu schránky a také stahování nebo sdílení dat z FTP serverů. Přenosová rychlost internetu může klesat s příjmem více HD kanálů. Stále se používá stará verze protokolu IPv4, ale nově se přidělují IP adresy pomocí protokolu IPv6.

Základní rozdělení datového přenosu je vázané na použití transportního protokolu. TCP je spojově orientovaný a spolehlivý transportní protokol, který má garanci správného doručení paketů. U některých aplikací je podstatné zajištění doručení dat ve správném pořadí. Například u přenosu souboru pomocí FTP, nebo doručování emailů.

Druhá možnost je nespojově orientovaný transportní protokol UDP. Data nejsou potvrzována a mohou být doručena v libovolném pořadí.

Příkladem může být přenos televizního signálu pomocí IP protokolu, kde v rámci přenosu může dojít ke ztrátě paketů. Ztráta se projeví v kvalitě přenosu obrazu. Opakované doručení paketu je v tomto případě zbytečné. [9]

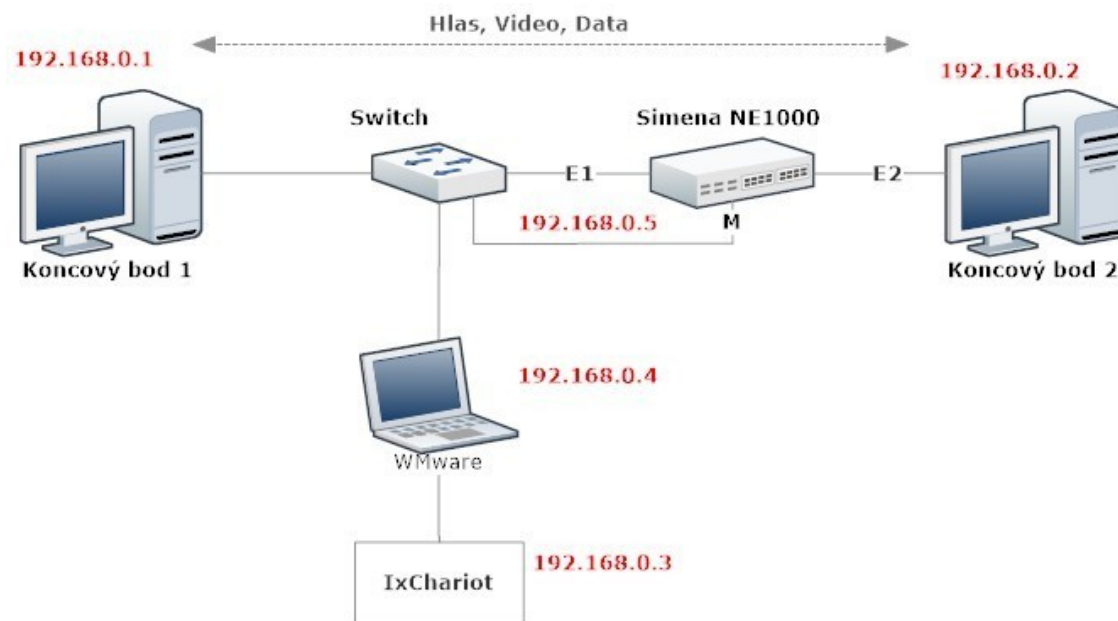


Obrázek 4.1: Přenos dat unicast a klient

## 5 Realizace sítě pro poskytování Triple play služby

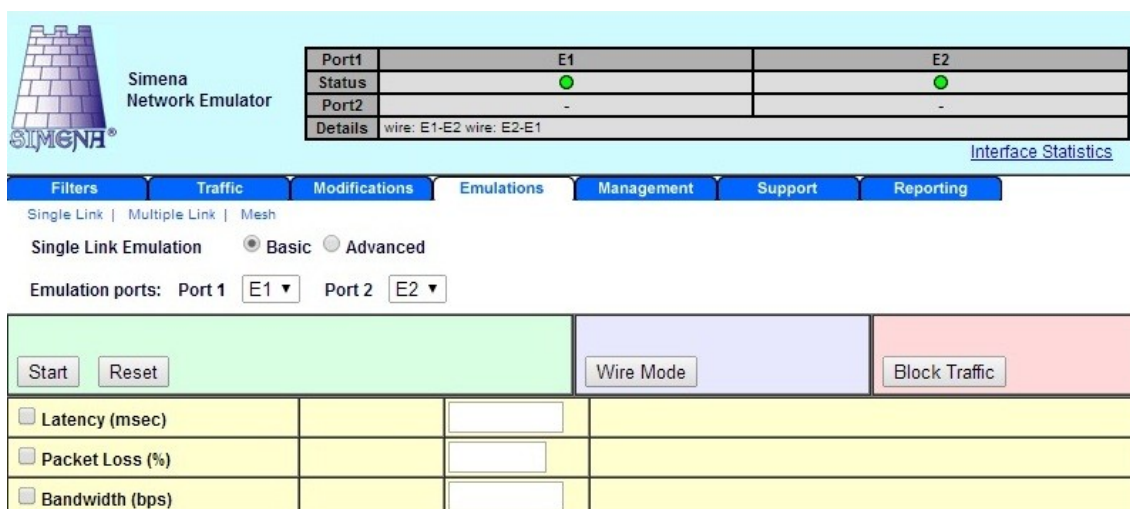
### 5.1 Zapojení lokální sítě

1.) Topologii zapojíme podle obrázku 5.1



Obrázek 5.1: Realizace sítě pro Triple play službu (LAN)

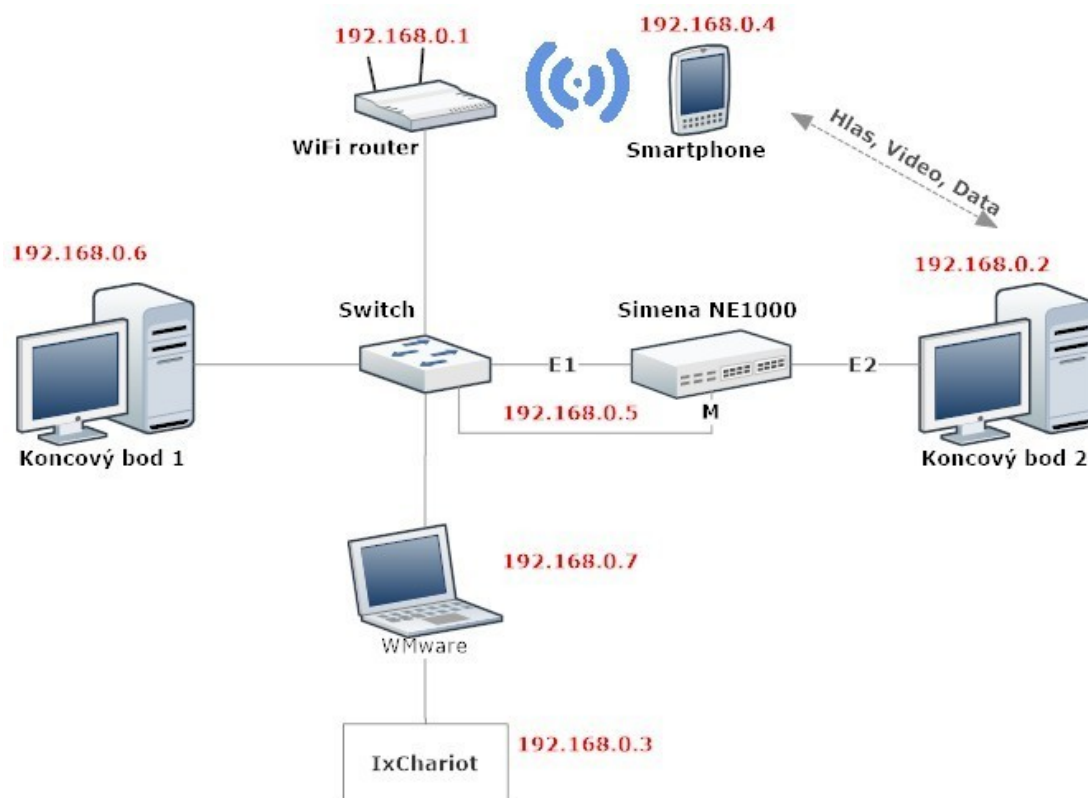
- 2.) U PC1 nastavíme statickou adresu 192.168.0.1. Na počítači nainstalujeme program „END POINT“ od společnosti Ixia.
- 3.) Z přepínače vedeme kabel do portu E1 na emulátoru sítě SIMENA
- 4.) Emulátor SIMENA má staticky přiřazenou adresu 192.168.0.5. Z portu M zapojíme kabel do přepínače. Který bude sloužit pro vzdálený přístup na webové rozhraní SIMENY.
- 5.) Z portu E2 na emulátoru propojíme druhé počítačové zařízení. Přiřadíme statickou adresu 192.168.0.2. Na počítači nainstalujeme program „END POINT“ od společnosti Ixia.
- 6.) Z přepínače vyvedeme poslední UTP kabel do počítačového zařízení, kde je nainstalovaný WMware. Počítačové zařízení přidělíme adresu 192.168.0.4
- 7.) Ve virtuálním stroji nastavíme adresu 192.168.0.3. V programu IxChariot nastavuje typ služby, který bude přenášen mezi koncovými body.
- 8.) Na počítači zadáme do internetového prohlížeče adresu 192.168.0.5, čímž se připojíme na webové rozhraní SIMENY. Přepneme na kartu „Emulations“. Kde budeme zadávat hodnoty pro zhoršení sítě (obr.5.2)



Obrázek 5.2: Webové rozhraní SIMENA

## 5.2 Zapojení lokální sítě a smartphone

1.) Topologii zapojíme podle obrázku 5.3



Obrázek 5.3: Realizace sítě pro Triple play službu (LAN) + smartphone

2.) U PC1 nastavíme statickou adresu 192.168.0.6. Na počítači nainstalujeme program „END POINT“ od společnosti Ixia.

- 3.) Wifi router přidělíme adresu 192.168.0.1. Nastavíme rozsah DHCP pool jenom pro jednu adresu.
- 4.) Na smartphonu si stáhneme z Google play aplikaci od společnosti Ixia. Která bude fungovat jako koncový bod. Zapneme WiFi na mobilu a přihlásíme se na náš WiFi router, který nám přidělí adresu 192.168.0.4 (obr. 5.4)
- 5.) Z přepínače vedeme kabel do portu E1 na emulátoru sítě SIMENA
- 6.) Emulátor SIMENA má staticky přiřazenou adresu 192.168.0.5. Z portu M zapojíme kabel do přepínače. Který bude sloužit pro vzdálený přístup na webové rozhraní SIMENY.
- 7.) Z portu E2 na emulátoru propojíme druhé počítačové zařízení. Přiřadíme statickou adresu 192.168.0.2. Na počítači nainstalujeme program „END POINT“ od společnosti Ixia.
- 8.) Z přepínače vyvedeme poslední UTP kabel do počítačového zařízení, kde je nainstalovaný WMware. Počítačové zařízení přidělíme adresu 192.168.0.7
- 9.) Ve virtuálním stroji nastavíme adresu 192.168.0.3. V programu IxChariot nastavuje typ služby, který bude přenášen mezi koncovými body. V tomto případě mezi smartphonem (192.168.0.4) a počítačem (192.168.0.2)
- 10.) Na počítači zadáme do internetového prohlížeče adresu 192.168.0.5, čímž se připojíme na webové rozhraní SIMENY. Přepneme na kartu „Emulations“. Kde budeme zadávat hodnoty pro zhoršení sítě (obr.5.2)



Obrázek 5.4: *END POINT aplikace na Android*

## 6 Generování Triple play služby nástrojem IxChariot

### 6.1 Nástroj IxChariot

IxChariot je program vytvořen společností IXIA. Jedná se o testovací software, který simuluje reálné aplikace.

Práce v IxChariotu je realizovaná pomocí uživatelské konzole, která zobrazuje simulaci a výsledky. Je tvořen dvěma API rozhraním. Tento nástroj je vytvořen v programovacím jazyce C a TCL. [7]

Vlastnosti IxChariotu:

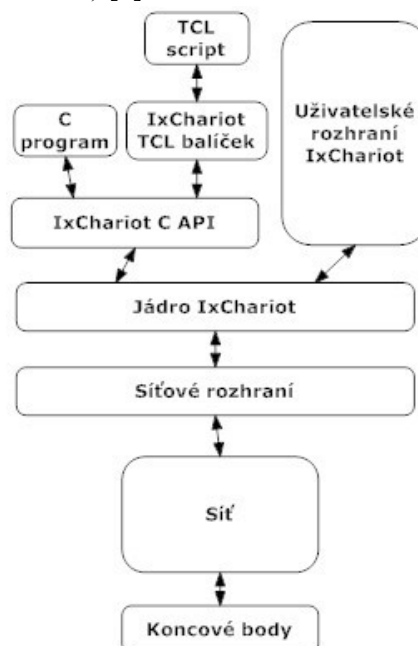
- Více než 140 předprogramovaných scénářů, které je možné emulovat protokoly Triple play služby, VoIP, multicastové video a ERP aplikace mohou běžet na několika párech koncových bodů.
- Zkoumá reálné chování aplikace na úrovni transportní vrstvy pro IPv4 a IPv6
- Možnost měřit datové služby pomocí skriptů

### 6.2 IxChariot API

S pomocí API IxChariotu umožňuje:

- Vytvářet testy,
- Spouštět testy
- Extrahovat výsledky testů do .pdf, .html ...

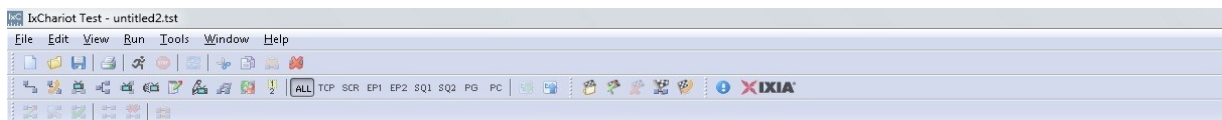
API IxChariotu poskytuje objektové rozhraní. Realizace objektového rozhraní nevyžaduje objektově orientovaný jazyk. To znamená, že API IxChariotu je implementováno v jazyce C. TCL balíček je implementovaný nad IxChariot C API (obr. 6.1).[7]



Obrázek 6.1: Rozhraní pro interakci TCL skriptů a programů v C s jádrem IxChariot

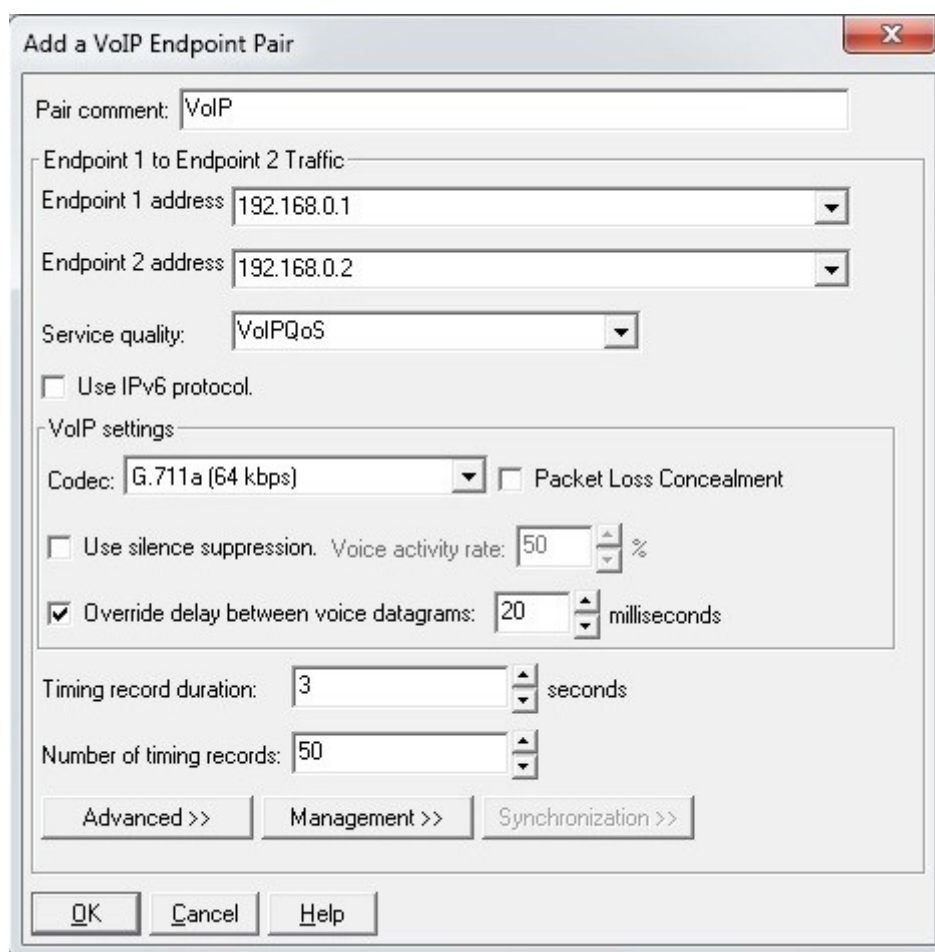
## 6.3 Nastavení služeb v IxChariot

Na horním panelu jsou tři tlačítka, která zvlášť reprezentují každou službu (obr.6.2).



Obrázek 6.2: *Horní panel Ixchariot*

Každá služba podporuje různé skripty a kodeky. Služby musí mít přesně nastavené koncové body. Jinak přenos je nefunkční. Na obrázku 6.3 je zobrazeno nastavení VoIP služby.

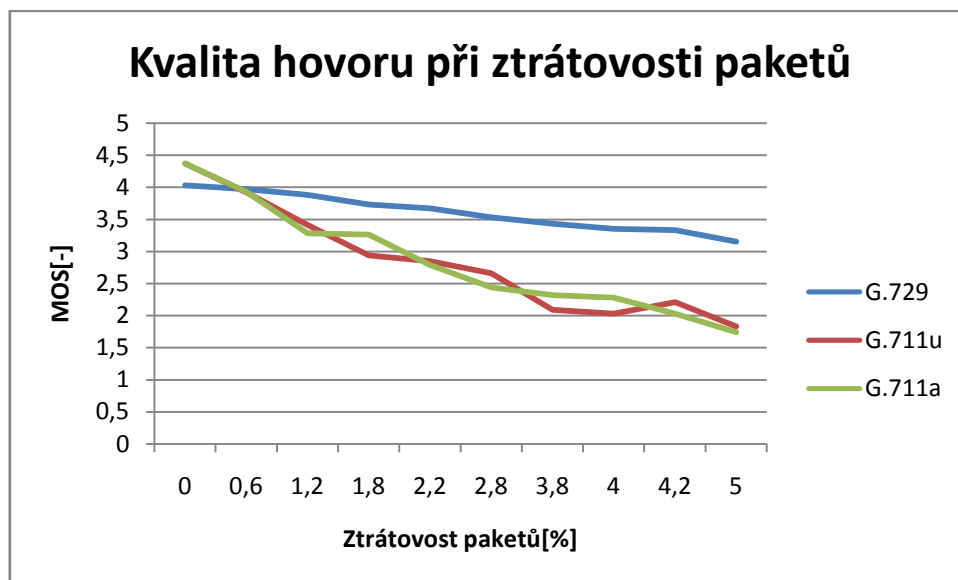


Obrázek 6.3: *Nastavení VoIP služby*

## 7 Analýza a vyhodnocení získaných dat

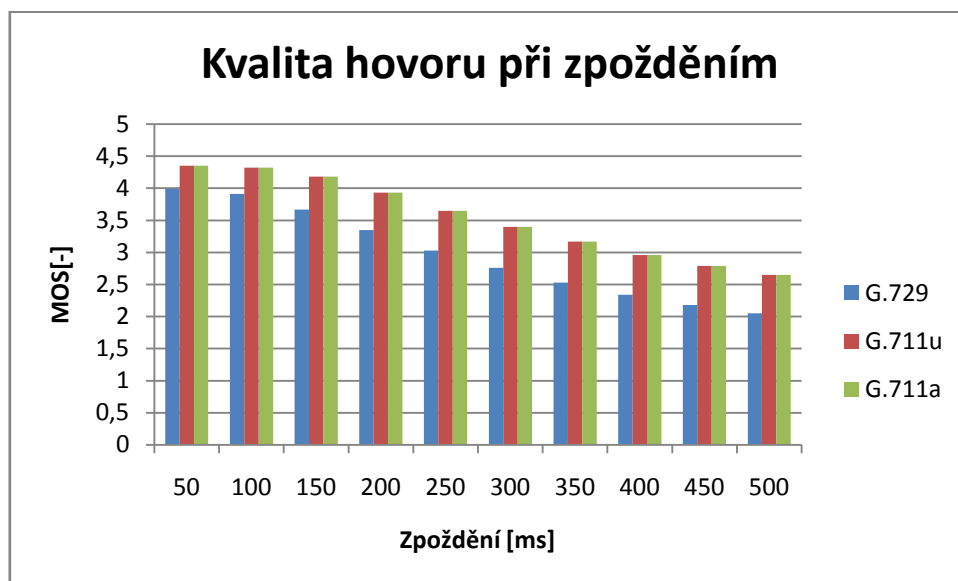
### 7.1 Lokální síť

#### 7.1.1 VoIP



Graf 7.1: Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti

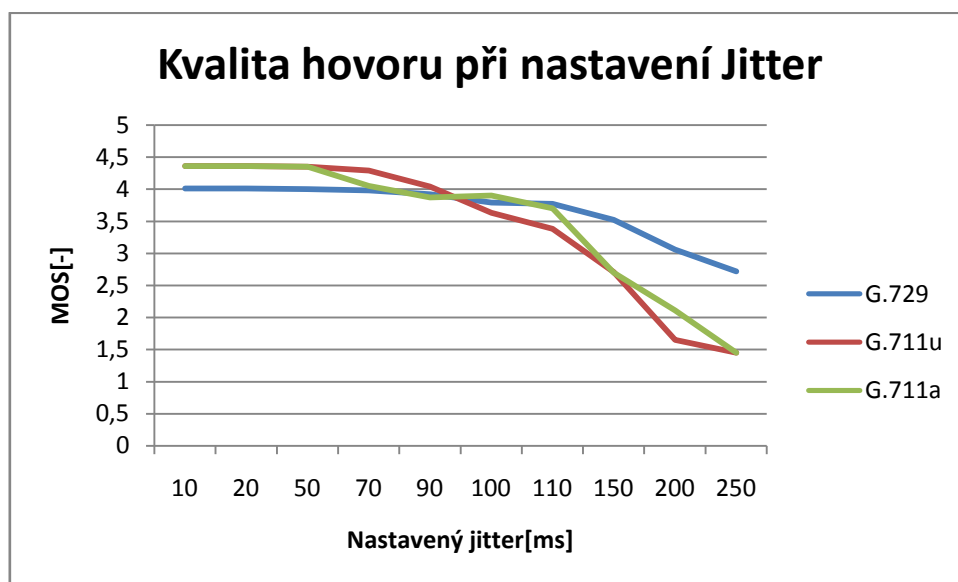
Výsledek měření ukázalo, že při kodeku G.711u a G.711a, která využívá přenosové pásmo 64 kb/s je vliv ztrátovosti paketů výraznější než při použití kodeku G.729, který využívá přenosové pásmo 8kb/s.



Graf 7.2: Měření kvality VoIP při změně nastavení zpoždění



Při změně nastavení zpoždění bylo prokázáno, že kodeky G.711u a G.711a měly totožnou kvalitu hovoru. Oproti kodeku G.729, který využívá menší přenosové pásmo, měl horší kvalitu hovoru.



Graf 7.3: Měření kvality VoIP při změně nastavení kolísání zpoždění (Jitter)

Při změně nastavení kolísání zpoždění se u všech kodeku projeví výraznější změny poklesu kvality řeči při hodnotě 150 ms. Přičemž u kodeku G.729 klesla kvalita řeči na takovou úroveň, že koncoví účastníci nemají problém se dorozumět. Naproti tomu u kodeku G.711u a G.711a klesla kvalita řeči pod hranici 2 na stupnici MOS, což znamená průběh hovoru měl nízkou až špatnou úroveň.

### 7.1.2 IPTV

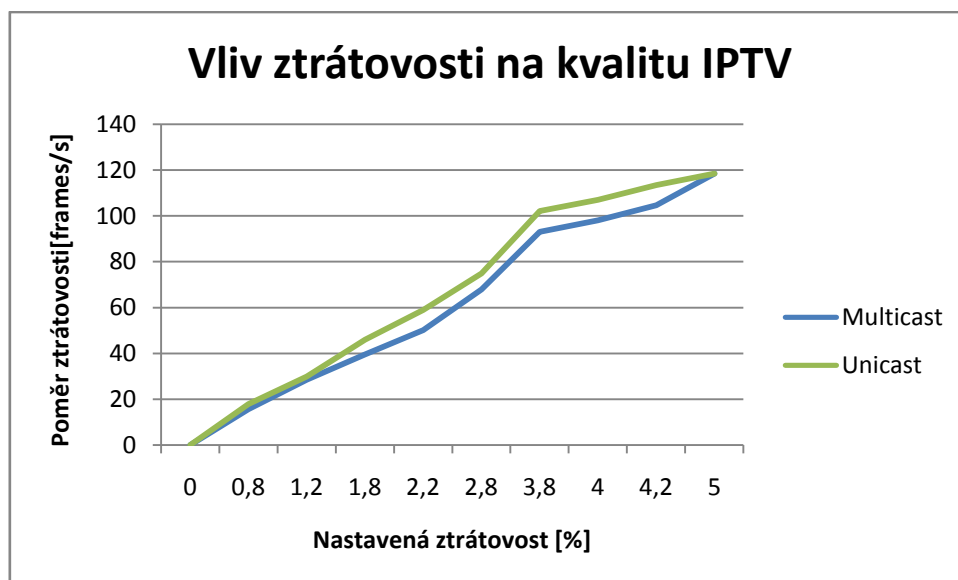
U videa jsou dva důležité faktory. Zpoždění a poměr ztrátovosti. U testování sítě použijeme dva protokoly RTP a UDP.

**DF** (faktor zpoždění)

- je časová hodnota v milisekundách a udává, jak velký musí být buffer, aby eliminoval jitter (9 – 50 ms)

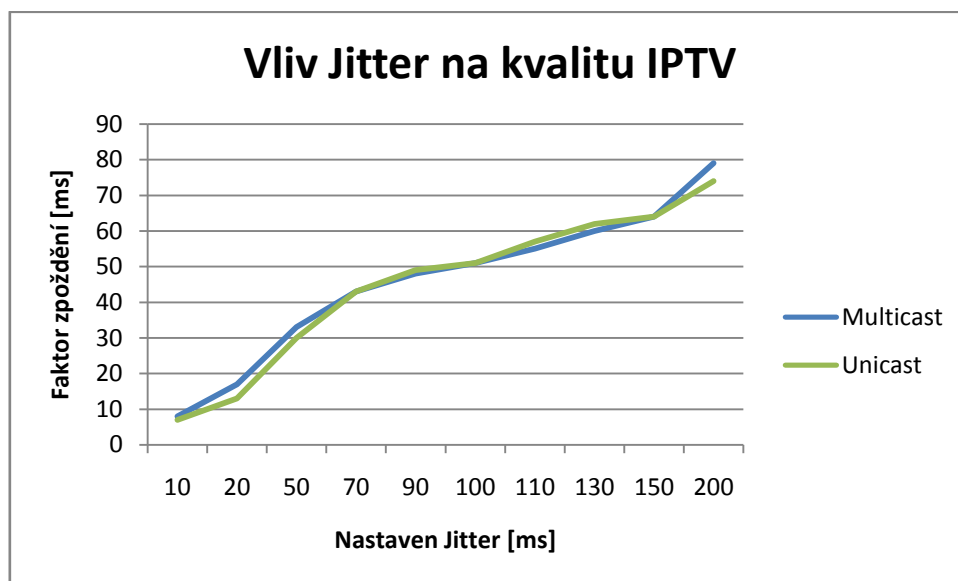
**MLR** (poměr ztrátovosti)

- je definováno jako počet ztracených média paketů nebo media pakety mimo pořadí za sekundu



Graf 7.4: Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP a RTP)

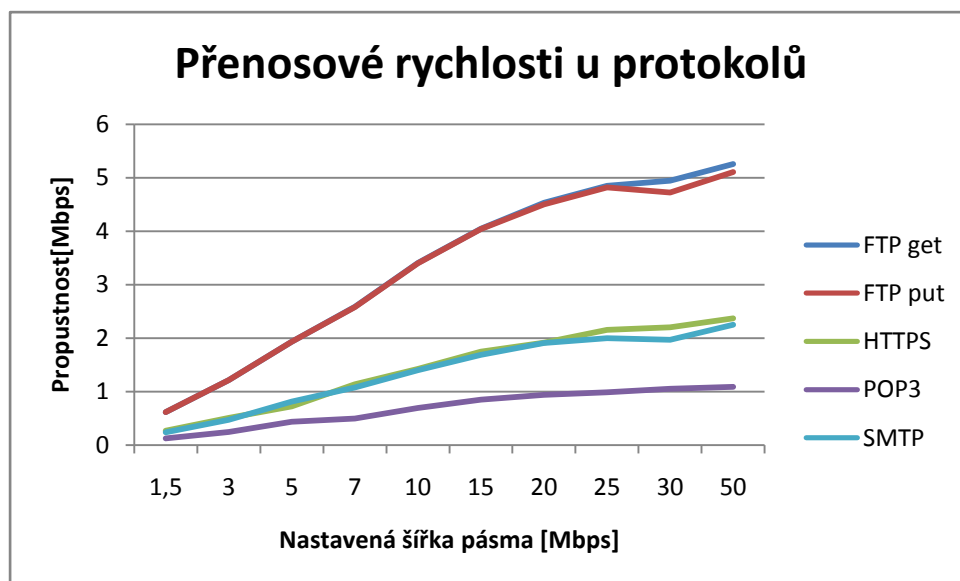
Při změně nastavení ztrátovosti dochází k postupnému zhoršení kvality obrazu jak u typu Multicast a Unicast. Avšak výrazné zhoršení kvality obrazu bylo už při změně ztrátovosti na 1,2 % a výše.



Graf 7.5: Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (UDP a RTP)

Při změně nastavování zpoždění příjmu paketů dochází k zvyšování faktoru zpoždění. Pokud má faktor, zpoždění hodnotu do 50 ms je set-top-box schopen eliminovat časovou posloupnost paketů. Pokud má faktor zpoždění větší hodnotu jak 50 ms dochází k přetečení bufferu v set-top-boxu a už není schopen eliminovat chyby. Toto platí pro oba typy Multicast a Unicast.

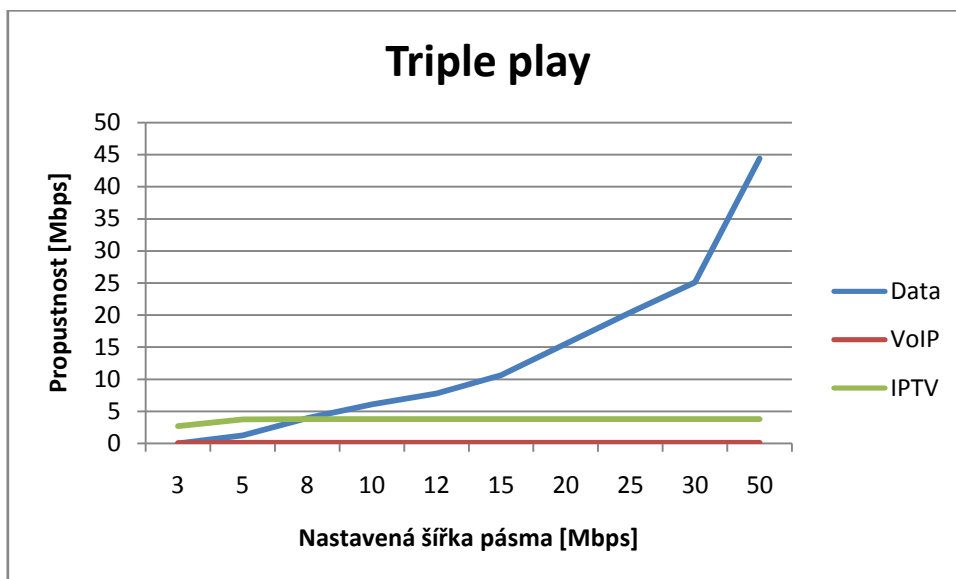
### 7.1.3 Data



Graf 7.6: Měření přenosové rychlosti u datových protokolů

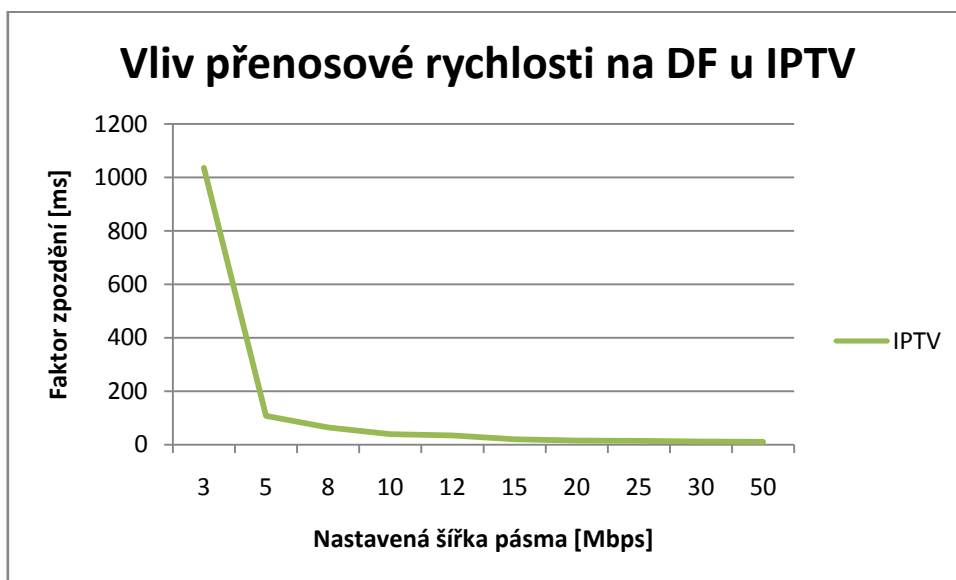
Při zvyšování šířky pásma je větší přenosová rychlost u protokolů. Největší náročnost na šířku pásma v tomto případě má protokol na stahování a nahrávání na FTP servery. Nejmenší náročnost na šířku pásma má protokol POP3, který se používá na prohlížení e-mailové schránky.

### 7.1.4 Triple play

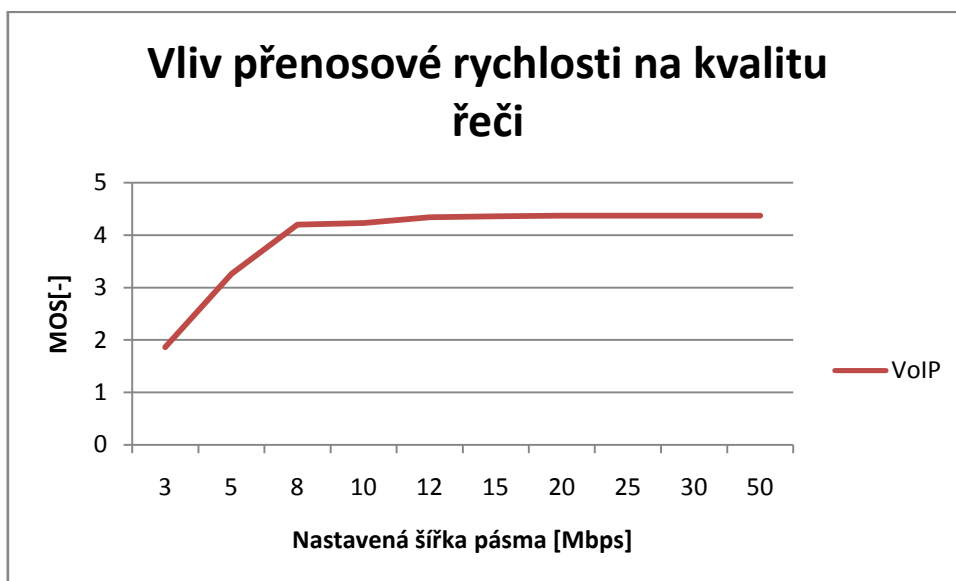


Graf 7.8: Měření přenosové rychlosti u Triple play služby

Při nastavení šířky pásma na 3Mbps není možné poskytovat Triple play službu. Zvýšením šířky pásma na 5Mbps je možné poskytovat službu, ale za podmínky že uživatel bude mít rychlost dat okolo 1Mbps. Nejvhodnější volba pro uživatele bude tehdy, když si zvolí rychlost od 15Mbps a výše. Protože bude mít jak lepší kvalitu IPTV a VoIP služby, ale také větší přenosovou rychlost internetu.



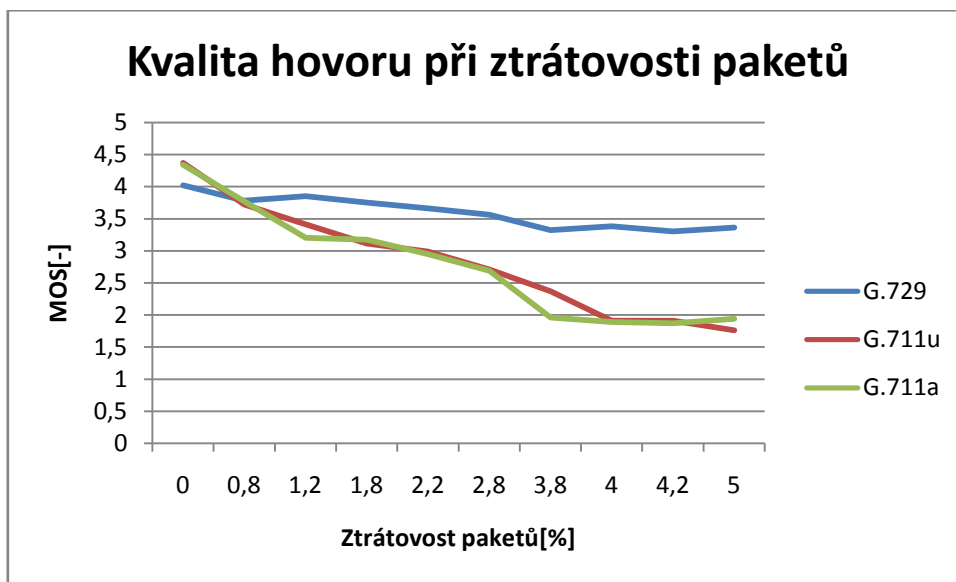
Graf 7.9: Vliv přenosové rychlosti na faktor zpoždění IPTV u Triple play služby



Graf 7.10: *Vliv přenosové rychlosti na kvalitu řeči u Triple play služby*

## 7.2 Lokální síť a smartphone

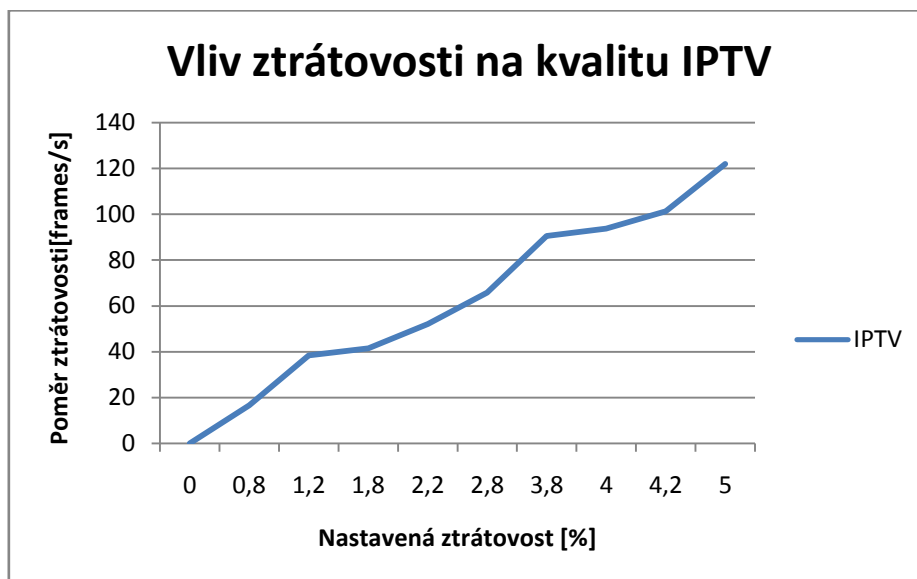
### 7.2.1 VoIP



Graf 7.11: Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti

Výsledek měření ukázalo, že kodeky G.711u a G.711a, které využívají přenosové pásmo 64 kb/s je vliv ztrátovosti paketů výraznější než při použití kodeku G.729, který využívá přenosové pásmo 8kb/s.

### 7.2.2 IPTV



Graf 7.12: Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP)

Při změně nastavení ztrátovosti dochází k postupnému zhoršení kvality obrazu. Avšak výrazné zhoršení kvality obrazu bylo patrné už při změně ztrátovosti na 1,2 % a výše.



### 7.2.3 Triple play

Typ služby	Propustnost [Mbps]	MOS	Jitter [ms]	DF [ms]	MLR [frames/s]
Data	20,847	-	-	-	-
VoIP	0,064	3,88	7,2	-	-
IPTV	3,753	-	-	66	0,351

Tabulka 7.1: *Přenosové rychlosti u Triple play služby na mobilním koncovém zařízení*

Testování proběhlo při nulové zátěži sítě. Z tabulky je patrné, že mobilní zařízení zvládne všechny tři typy služeb najednou. Avšak bude to mít dopad na kvalitu IPTV z důvodu většího zpoždění. Kvalita hovoru má taktéž drobné zhoršení.

Proto na mobilním zařízení je lepší používat každou službu zvlášť. Z důvodu náročnosti na šířku pásma.

## 8 Závěr

V bakalářské práci jsem se zaměřil na jednotlivé služby z balíčku Triple play. V dnešní době tuto technologii poskytuje několik operátorů.

Každou službu jsem popsal zvlášť v samostatné kapitole. U IPTV jsem se věnoval pozornost na distribuční řetězec od odbavovacího pracoviště až po koncového uživatele. Soustředil jsem se na rozdíly přenosu televizního signálu pro Multicast a Unicast skupiny. Zjistil jsem, jaké jsou hlavní faktory zpoždění při přepnutí televizního kanálu.

U VoIP služby jsem popisoval, jaké jsou hlavní požadavky na přenos paketů. Popsal jsem metodu přenosu „best effort“. Tato služba má zajistit maximální kvalitu hovoru. Objasnil jsem signalizaci v IP telefonii, kde jsou použity protokoly SIP a H.323. U těchto dvou protokolů je názorná ukázka relace mezi dvěma účastníky. Srovnal jsem výkonnost kodeku. Dále jsem se zaměřil na hodnocení kvality VoIP a možností hodnocení. V neposlední řadě jsem charakterizoval poslední službu balíčku triple play a to přenos dat.

V praktické části jsem zrealizoval zapojení topologie lokální sítě, na které jsem testoval služby Triple play. K testování služeb jsem použil program IxChariot, který simuluje typy služeb. Následně jsem při dalším zapojení topologie uskutečnil bezdrátové připojení mobilního telefonu, na které jsem testoval typy služeb.

Při experimentaci služeb jsem používal emulátor sítě SIMENA, na které jsem ovlivňoval průběh testování služeb. Postupně jsem v emulátoru SIMENA zvyšoval ztrátovost paketu i zpoždění a nastavoval šířku pásma.

Nakonec jsem vyhodnotil získaná data. Chceme-li z pohledu zákazníka získat nejen dobrou kvalitu, ale také větší internetovou přenosovou rychlost, pak je nejvhodnější zvolit si rychlost 15Mbps a výše.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] HENS, FRANCISCO; M. CABALLERO, JOSE'. TRIPLE PLAY BUILDING THE CONVERGED NETWORK FOR IP, VOIP AND IPTV.: JOHN WILEY & SONS LTD, 2008.
- [2] HLAVÁČEK J., BEŠŤÁK R..ACCESS.FELD.CVUT.CZ [ONLINE]. 21. 01. 2010 [CIT. 2014-04-24]. AKTUÁLNÍ PROBLÉMY ŘÍZENÍ KVALITY SLUŽEB V IP TELEFONII. DOSTUPNÉ WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010010003>>.
- [3] VOZŇÁK M., ZUKAL D.. HOMEL.VSB.CZ/~VOZ29/FILES/VOZ\_71.PDF [ONLINE]. 30.10.2005 [CIT.2014-04-24]. KVALITA HOVORU V PROSTŘEDÍ VOIP. DOSTUPNÉ Z WWW: <[http://homel.vsb.cz/~voz29/files/voz\\_71.pdf](http://homel.vsb.cz/~voz29/files/voz_71.pdf)>.
- [4] ZEMAN T., KREJČÍ J.. ACCESS.FELD.CVUT.CZ [ONLINE]. 10. 12. 2008 [CIT.2014-04-24]. ÚVOD DO IPTV. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008100002>>.
- [5] ITU-T: G.711 : PULSE CODE MODULATION (PCM) OF VOICE FREQUENCIES. [ONLINE].[CIT.2014-04-24].ITU-T,1988. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>>
- [6] ITU-T: G.729 : CODING OF SPEECH AT 8 KBIT/S USING CONJUGATE-STRUCTURE ALGEBRAIC-CODE-EXCITED LINEAR PREDICTION (CS-ACELP). [ONLINE]. [CIT.2014-04-24].DOSTUPNÉ Z WWW: <[HTTP://WWW.ITU.INT/ REC/T-REC-G.729-199603-S](http://www.itu.int/rec/T-REC-G.729-199603-S)>.
- [7] MALINA, KAREL. ZPRACOVÁNÍ STATISTIK GENERÁTORU SÍTOVÉHO PROVOZU IXCHARIOT V PROSTŘEDÍ SIMULÁTORU OPNET MODELER, 2013.[CIT.2014-04-24] DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [8] KREJČÍ J., LAFATA P. SOUČASNÉ A BUDOUCÍ MOŽNOSTI ŘEŠENÍ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ PRO IPTV.[ONLINE].[CIT.2014-04-24]. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/10/soucasne-a-budouci-moznosti-reseni-pristupove-site-pro-iptv/>>
- [9] HORVÁT T., ŠIFRA R., MÜNSTER P.. MĚŘENÍ SLUŽEB TRIPLE PLAY V PASIVNÍCH OPTICKÝCH SÍTÍCH. [ONLINE][CIT.2014-04-24]. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/mereni-sluzeb-triple-play-v-pasivnich-optickych-sitich--measurement-of-triple-play-services-in-passive-optical-networks-/>>
- [10] WALLACE, K. VOIP BEZ PŘEDCHOZÍCH ZNALOSTÍ. VYD. 1. PŘEKLAD JAN GREGOR. BRNO: COMPUTER PRESS, 2007, 231 s. ISBN 978-80-251-1458-2.

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1:	<i>Distribuční řetězec IPTV</i> .....	12
Obrázek 2.2:	<i>Přenos tv kanálů IPTV "multicast"</i> .....	13
Obrázek 2.3:	<i>Přenos tv kanálů IPTV „Unicast“</i> .....	14
Obrázek 2.4:	<i>Zpoždění při přepnutí programu u IPTV</i> .....	14
Obrázek 3.1:	<i>IP telefon</i> .....	16
Obrázek 3.2:	<i>Referenční model</i> .....	16
Obrázek 3.3:	<i>Hierarchy protokolu IP telefonie</i> .....	17
Obrázek 3.4:	<i>Princip metody maximální snahy „Best effort“</i> .....	18
Obrázek 3.5:	<i>Sekvence sestavení hovoru s rezervací prostředků „H.323“</i> .....	19
Obrázek 3.6:	<i>Sekvence sestavení hovoru s pomocí SIP protokolu</i> .....	20
Obrázek 3.7:	<i>Grafická závislost R-faktoru a parametr MOS</i> .....	21
Obrázek 3.8:	<i>Zpoždění mezi odesílatelem a příjemcem</i> .....	23
Obrázek 3.9:	<i>Poslechová MOS stupnice</i> .....	23
Obrázek 4.1:	<i>Přenos dat unicast a klient</i> .....	26
Obrázek 5.1:	<i>Realizace sítě pro Triple play službu (LAN)</i> .....	27
Obrázek 5.2:	<i>Webové rozhraní SIMENA</i> .....	28
Obrázek 5.3:	<i>Realizace sítě pro Triple play službu (LAN) + smartphone</i> .....	28
Obrázek 5.4:	<i>END POINT aplikace na Android</i> .....	29
Obrázek 6.1:	<i>Rozhraní pro interakci TCL skriptů a programů v C s jádrem IxChariot</i> .....	30
Obrázek 6.2:	<i>Horní panel Ixchariot</i> .....	31
Obrázek 6.3:	<i>Nastavení VoIP služby</i> .....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1:	<i>Shrnutí základních vlastností MPEG-2 a MPEG-4</i> .....	11
Tabulka 2.2:	<i>Dostupné přenosové rychlosti DVB-C, hodnoty v Mbit/s</i> .....	11
Tabulka 3.1:	<i>Porovnání kodeků</i> .....	22
Tabulka 3.2:	<i>Faktor očekávání</i> .....	25
Tabulka 3.3:	<i>Hodnoty kvality řeči</i> .....	25
Tabulka 7.1:	<i>Přenosové rychlosti u Triple play služby na mobilním koncovém zařízení</i> .....	41
Tabulka 1:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti</i> .....	48
Tabulka 2:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení zpoždění</i> .....	48
Tabulka 3:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení kolísání zpoždění (Jitter)</i> .....	49
Tabulka 4:	<i>Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP)</i> .....	50
Tabulka 5:	<i>Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (RTP)</i> .....	50
Tabulka 5:	<i>Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (UDP)</i> .....	51
Tabulka 6:	<i>Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (RTP)</i> .....	51
Tabulka 7:	<i>Měření přenosové rychlosti u datových protokolu</i> .....	52
Tabulka 8:	<i>Měření přenosové rychlosti u Triple play služby</i> .....	52
Tabulka 9:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti</i> .....	53
Tabulka 10:	<i>Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP)</i> .....	53

## Seznam grafů

Graf 7.1:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti .....</i>	32
Graf 7.2:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení zpoždění .....</i>	32
Graf 7.3:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení kolísání zpoždění (Jitter) .....</i>	33
Graf 7.4:	<i>Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP a RTP) ..</i>	34
Graf 7.5:	<i>Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (UDP a RTP) .....</i>	35
Graf 7.9:	<i>Vliv přenosové rychlosti na faktor zpoždění IPTV u Triple play služby .....</i>	37
Graf 7.10:	<i>Vliv přenosové rychlosti na kvalitu řeči u Triple play služby .....</i>	38
Graf 7.11:	<i>Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti .....</i>	39
Graf 7.12:	<i>Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP) .....</i>	40

## **Příloha A: Použité přístroje**

### **Emulátor sítě Simena NE 1000**

- Dva porty 10/100/1000BaseTX pro emulaci sítě
- Jeden port 10/100 BaseTX pro webové rozhraní
- VGA a PS/2 konzolové porty
- Šířka 456 mm
- Hloubka 318 mm
- Výška 44 mm
- Zdroj: DC 220V

### **Switch Edimax Fast Ethernet ES – 3116P**

- Počet portů 10/100BaseTX (RJ45) 16 ks
- Podporované protokoly a standardy • Auto MDI/MDI-X • half/full duplex • IEEE 802.3 - 10BaseT • IEEE 802.3u - 100BaseTX • IEEE 802.3x - Flow Control
- Přepínací algoritmus store-and-forward
- Paměťový buffer 256 kB
- Vrstva (Layer) přepínání 2
- Šířka 290 mm
- Výška 30 mm
- Hloubka 100 mm
- Zdroj: DC12V

### **WiFi zařízení AirLive WL-5460AP v2**

- Komunikační porty: 2x RJ-45 (10/100 Mbit/s)
- Konfigurace: Web management, SNMP
- Pracovní teplota [°C]: 0-60
- Šířka 135 mm
- Hloubka 100 mm
- Výška 26 mm
- EMI: FCC, CE
- Podporované specifikace WLAN: IEEE 802.11b, IEEE 802.11g
- Anténa: 2 dBi odpojitelná dipólová
- Přenosové rychlosti: 1/2/5.5/11 Mbit/s, 18 Mbit/s, 24 Mbit/s, 36 Mbit/s, 48 Mbit/s, 54 Mbit/s
- Šifrování: WEP 64/128-bit, WPA, WPA 2
- Funkce access pointu: Bridge, Client, Repeater
- Výstupní výkon [dBm]: 18
- Zdroj: DC12V

## Příloha B: Výsledky z měření služby Triple play

### Lokální síť

#### Výsledky měření VoIP

Typ Kodeku	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a
Nastavená ztrátovost [%]	Hodnota MOS			R hodnota			Propustnost [kbps]		
0	4,03	4,37	4,37	80,18	91,49	91,49	8	64	64
0,6	3,97	3,92	3,93	78,61	79,22	79,61	8	64	64
1,2	3,88	3,41	3,28	76,44	68,19	64,41	8	63	63
1,8	3,73	2,94	3,26	73,03	57,18	64,32	8	63	63
2,2	3,67	2,85	2,79	71,77	55,64	54,36	8	63	62
2,8	3,53	2,66	2,44	68,7	52,02	47,45	8	62	62
3,8	3,43	2,09	2,32	68,59	37,44	45,18	8	61	62
4	3,35	2,03	2,28	65,2	37,96	43,85	8	61	62
4,2	3,33	2,21	2,03	64,67	41,69	36,65	8	61	61
5	3,15	1,83	1,74	61,03	31,64	29,96	8	61	61

Tabulka 1: Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti

Typ Kodeku	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a
Nastavená Latency [ms]	Hodnota MOS			R hodnota			Propustnost [kbps]		
50	3,99	4,35	4,35	79,14	90,42	90,42	8	64	64
100	3,91	4,32	4,32	77,2	89,06	89,06	8	64	64
150	3,67	4,18	4,18	71,56	84,41	84,41	8	64	64
200	3,35	3,93	3,93	64,78	77,62	77,63	8	64	64
250	3,03	3,65	3,65	58,68	71,28	71,29	8	64	64
300	2,76	3,4	3,4	53,49	65,86	65,86	8	64	64
350	2,53	3,17	3,17	49,11	61,27	61,27	8	64	64
400	2,34	2,96	2,96	45,41	57,38	57,38	8	64	64
450	2,18	2,79	2,79	42,27	54,09	54,1	8	64	64
500	2,05	2,65	2,65	39,63	51,33	51,33	8	64	64

Tabulka 2: Měření kvality VoIP při změně nastavení zpoždění



Typ Kodeku	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a
Nastaven Jitter[ms]	Hodnota MOS			R hodnota			Jitter[ms]		
10	4,01	4,36	4,36	80,18	91,49	91,49	2,25	2,6	6,65
20	4,01	4,36	4,36	79,66	90,93	91,01	4,05	3,7	5,5
50	4	4,35	4,35	79,33	90,54	90,56	9,15	7,7	8,35
70	3,98	4,29	4,05	73,03	88,61	82,16	9	10,4	9,75
90	3,92	4,04	3,87	77,4	82,13	77,84	11,25	11,1	11,1
100	3,79	3,63	3,9	74,3	72	78,35	12,95	12,6	12
110	3,77	3,38	3,7	73,82	66,29	73,77	12,35	12,55	12,9
150	3,52	2,71	2,7	68,43	52,64	52,24	14,5	15,05	14,8
200	3,06	1,65	2,11	59,32	27,98	40,58	17,4	16,8	16,25
250	2,72	1,45	1,45	52,73	22,85	23,16	18,05	18	17,85

Tabulka 3: Měření kvality VoIP při změně nastavení kolísání zpoždění (Jitter)

## Výsledky měření IPTV

Typ Kodeku	IPTV(MPEG-2) - Multicast	
Nastavená ztrátovost [%]	MLR[frames/s]	Propustnost [Mbps]
0	0	3,75
0,8	15,634	3,727
1,2	28,541	3,708
1,8	39,502	3,691
2,2	50,217	3,675
2,8	67,866	3,648
3,8	93,005	3,609
4	98,092	3,601
4,2	104,678	3,59
5	118,455	3,563

Tabulka 4: *Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP)*

Typ Kodeku	IPTV(MPEG-2)- Unicast	
Nastavená ztrátovost [%]	MLR[frames/s]	Propustnost [Mbps]
0	0	3,75
0,8	17,929	3,724
1,2	29,826	3,706
1,8	45,919	3,681
2,2	58,967	3,662
2,8	74,887	3,638
3,8	102,113	3,602
4	107,06	3,593
4,2	113,489	3,535
5	118,455	3,554

Tabulka 5: *Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (RTP)*

Typ Kodeku	IPTV(MPEG-2)-Multicast	
Nastaven Jitter(ms)	DF [ms]	Propustnost [Mbps]
10	8	3,751
20	17	3,751
50	33	3,745
70	43	3,684
90	48	3,633
100	51	3,586
110	55	3,527
130	60	3,449
150	64	3,543
200	79	3,75

Tabulka 5: *Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (UDP)*

Typ Kodeku	IPTV(MPEG-2)-Unicast	
Nastaven Jitter(ms)	DF [ms]	Propustnost [Mbps]
10	7	3,751
20	13	3,751
50	30	3,751
70	43	3,725
90	49	3,751
100	51	3,687
110	57	3,749
130	62	3,695
150	64	3,751
200	74	3,454

Tabulka 6: *Měření faktoru zpoždění při nastavení Jitteru u IPTV (RTP)*

**Výsledky z měření přenosových dat**

Typ přenosu dat	FTP get	FTP put	HTTPS	POP3	SMTP
Nastavená šířka pásma [Mbps]	Propustnost [Mbps]				
1,5	0,615	0,615	0,265	0,124	0,24
3	1,214	1,214	0,504	0,244	0,476
5	1,932	1,93	0,72	0,436	0,814
7	2,587	2,582	1,132	0,493	1,076
10	3,406	3,398	1,422	0,694	1,404
15	4,047	4,039	1,744	0,848	1,688
20	4,53	4,499	1,915	0,94	1,912
25	4,846	4,817	2,155	0,985	1,999
30	4,94	4,724	2,201	1,054	1,973
50	5,254	5,106	2,37	1,088	2,252

Tabulka 7: *Měření přenosové rychlosti u datových protokolu***Výsledky z měření Triple play služby**

Typ přenosu dat	Data	VoIP	IPTV
Nastavená šířka pásma [Mbps]	Propustnost [Mbps]		
3	0	0,046	2,687
5	1,236	0,064	3,72
8	3,923	0,064	3,743
10	6,103	0,064	3,746
12	7,799	0,064	3,747
15	10,616	0,064	3,748
20	15,529	0,064	3,749
25	20,404	0,064	3,75
30	25,09	0,064	3,75
50	44,379	0,064	3,75

Tabulka 8: *Měření přenosové rychlosti u Triple play služby*

## Lokální síť a smartphone

### Výsledky měření z VoIP

Typ Kodeku	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a	G.729	G.711u	G.711a
Nastavená ztrátovost [%]	Hodnota MOS			R hodnota			Propustnost [kbps]		
0	4,02	4,37	4,34	79,97	91,45	90,6	8	64	64
0,8	3,78	3,72	3,77	73,65	74,05	75,24	8	64	64
1,2	3,85	3,41	3,2	78,1	64,05	63,1	8	63	63
1,8	3,75	3,11	3,17	73,43	61,08	62,19	8	63	63
2,2	3,66	2,99	2,95	71,47	58,76	58,08	8	63	63
2,8	3,56	2,71	2,69	69,35	52,97	52,07	8	62	62
3,8	3,32	2,37	1,96	64,46	45,41	34,32	8	62	62
4	3,38	1,91	1,89	65,69	42,86	33,25	8	62	62
4,2	3,3	1,91	1,87	64,12	33,67	31,85	8	61	61
5	3,36	1,76	1,94	65,36	29,53	34,56	8	61	61

Tabulka 9: Měření kvality VoIP při změně nastavení ztrátovosti

### Výsledky měření z IPTV

Typ Kodeku	IPTV(MPEG-2)-Multicast		
Nastavená ztrátovost [%]	DF [ms]	MLR [frames/s]	Propustnost [Mbps]
0	7	0	3,745
0,8	20	16,667	3,739
1,2	28	38,471	3,707
1,8	22	41,45	3,701
2,2	21	52,147	3,684
2,8	22	65,788	3,662
3,8	22	90,527	3,626
4	20	93,731	3,62
4,2	21	101,188	3,611
5	19	121,928	3,584

Tabulka 10: Měření počtů ztracených média paketů při nastavení ztrátovosti u IPTV (UDP)